

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Řezání kolejnic za tepla ve výrobním procesu

The Hot Rail Cutting In Production Process

Student: Bc. Martin PYSZKO
Vedoucí diplomové práce: prof. Dr. Ing. Josef Brychta

Ostrava 2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Řezání kolejnic za tepla ve výrobním procesu

The Hot Rail Cutting in Production Process

Student:	Bc. Martin Pyszko
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Pracoviště:	Katedra obrábění a montáže – 346

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor stávajícího postupu řezání kolejnic za tepla
2. Analýza požadavků na tvarovou přesnost a strukturu povrchu plochy
3. Návrh technologie řezání kolejnic včetně nástrojů, přípravků a potřebného zařízení
4. Ověření a vyhodnocení navržené technologie řezání
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PYSZKO, Martin: *Řezání kolejnic za tepla ve výrobním procesu*. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 98 s. Diplomová práce, vedoucí Brichta, J.

Diplomová práce se zabývá dělením kolejnic ve výrobním procesu. V úvodu je popsána teorie k dělení řezáním a rozbrušováním a také výroba kolejnic v Třineckých železárnách, a. s.

V rozboru stávajícího stavu jsou uvedeny požadavky na vyšší kvalitu řezu a nižší hlučnost procesu dělení kolejnic za tepla. Kvalitativní požadavky vyplývají z toho, že velký otřep způsobuje otlaky na kolejnici při jejich rovnání a špatná čistota řezu neumožňuje laserové měření délek.

V dílčím řešení je uveden návrh jednoduchého zařízení pro odstraňování otřepu a funkčnost laserového měření délek je řešena vhodným umístěním laserové měřicí jednotky.

Kvalita řezu a hlučnost procesu je také řešena návrhem dělení kolejnic rozbrušovacím kotoučem s ocelovým jádrem, včetně návrhu upínání kolejnic. Pro navrhovanou metodu dělení je uveden postup výroby rozbrušovacího nástroje. V závěru práce je popsáno také praktické ověření navrhované metody.

ANNOTATION OF DIPLOMA WORK

PYSZKO, Martin: *The Hot Rail Cutting in Production Process*. Ostrava: Department of Working and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB-Technical University of Ostrava, 2009, 98 p. Diploma Work, head: Brichta, J.

This diploma work deals with rails splitting in a production process. A theory of splitting with sawing and with abrasive cutting as well as rails production done in company Třinecké železářny, a. s. is contained in the introduction.

Next, an analysis of currently existing state brings requirements for a higher quality of sawing with a lower noise of a process of heated rails splitting. Qualitative requirements result from two main aspects. A big burr produces rail callosity during its straightening while a poor slicing purity restricts length measure with laser technology.

Then, the solution part presents a design of simple equipment for burr removal. Solution for functional laser length measure leads to proposed recommendations for a suitable placement of laser measurement unit.

Both sawing quality and the process noise are solved in a proposal for rails splitting with grinding wheel containing steel core, with included suggestions for rails clamping. A process of grinding tool production for this splitting method is presented as well. A practical verification of the proposed method is described in the thesis conclusion.

Obsah:

Seznam použitých zkratk	8
1 Úvod	10
2 Cíl práce	11
3 Dělení materiálu	12
3.1 Řezání na kotoučových pilách	12
3.2 Dělení rozbrušovacím kotoučem	16
4 Výroba kolejnic v Třineckých železárnách, a. s.	19
4.1 Výroba oceli pro kolejnice	20
4.2 Výroba předlitků a jejich ohřev v krokové peci	21
4.3 Válcování kolejnic	23
4.4 Odřez technologického odpadu a chlazení kolejnic	23
4.5 Rovnání kolejnic	28
4.6 Měřicí centrum	28
4.7 Dělení a dorovnávání konců kolejnic v Úpravně kolejnic	29
4.8 Nástrojárna úpravny kolejnic	30
5 Analýza požadavků na novou technologii dělení	31
5.1 Požadavek na menší otřep	31
5.2 Požadavek na vyšší kvalitu řezné plochy pro laserové měření délek	32
5.3 Požadavek na nižší hlučnost při řezání kolejnic za tepla	35
5.4 Dostupnost vhodných pilových kotoučů	37
6 Kontrola hladiny hluku při řezání kolejnic za tepla	38
7 Integrita povrchu čelní plochy kolejnice	42
8 Mechanické vlastnosti a teplota dělené kolejnice	47
9 Dílčí návrhy řešení konkrétních požadavků	50
9.1 Zařízení pro srážení hrany a otřepu	50
9.2 Řešení funkčnosti laserového měření délek	51
9.3 Organizační a technická opatření při vysoké hlučnosti	52
10 Návrh metody dělení kolejnic	53
10.1 Dělení kolejnic na kotoučových pilách po ochlazení vývalku	53
10.2 Dělení kolejnic rozbrušováním za horka	54
11 Návrh a výroba rozbrušovacího nástroje	55
11.1 Výběr vhodného rozbrušovacího nástroje	55
11.2 Návrh rozbrušovacího nástroje s ocelovým jádrem	59
11.3 Výroba ocelového jádra rozbrušovacího nástroje	61
11.4 Výroba brusné části rozbrušovacího nástroje	63
12 Návrh upínání kolejnic při rozbrušování	66
12.1 Silové působení na kolejnici při procesu	66
12.2 Konstrukční požadavky na upínání kolejnic	67
12.3 Všeobecné řešení systému upínání	69
12.4 Opěrné prvky upínání kolejnic	71
12.5 Upínací síla	74
12.6 Další potřebné prvky upínání – rozevírání řezu	77
12.7 Řešení upínání příčným vlečným odsunu kolejnic	78
13 Praktické ověření dělení kolejnic rozbrušováním	80
14 Technicko-ekonomické zhodnocení	82
14.1 Hodnocení proběhlých zkoušek rozbrušování	82
14.2 Hodnocení hlučnosti procesu a kvality řezu při rozbrušování	83

14.3	Ekonomické zhodnocení řezání a rozbrušování.....	84
14.4	Zhodnocení dílčích návrhů konkrétních řešení.....	85
15	Závěr.....	86
	Literatura.....	88
	Přílohy.....	91

Seznam použitých zkratk

BD	- Drobné kolejivo
CNC	- číslicové řízení počítačem
Č. OPER.	- číslo operace
ČAS D	- čas dávkový
ČAS J	- čas jednotkový
ČSN	- česká státní norma
EN	- evropská norma
ES	- evropská směrnice
EU	- Evropská unie
HSS	- High Speed Steel – rychlořezná ocel
LD	- typ konvertoru (Linz-Donawitz), který se používá pro surové železo s nízkým obsahem fosforu
MDS	- automatická kotoučová rovnací linka kolejnic a profilů (Mannesmann Demag Sack)
N.HOD	- normovaný čas (v hodinách)
NT 1	- označení profilu tramvajové kolejnice
NV	- nařízení vlády
OOPP	- osobní ochranné pracovní pomůcky
OPV	- oboustranně pilovrtací stroj Linsiger
P11	- pilovrtací stroj Wagner
P12	- pilovrtací stroj Wagner
PN	- podniková norma
PPo	- pracovní postup
PVD	- Physical Vapor Deposition - fyzikální nanášení povlaků
R 65	- označení profilu širokopatní kolejnice
S 49	- označení profilu širokopatní kolejnice
SK	- slinutý karbid
STM	- sledování toku materiálu
TŽ	- Třinecké železářny, a. s.
UIC 54	- označení profilu širokopatní kolejnice
UIC 60	- označení profilu širokopatní kolejnice

UIC 860	- předpis pro výrobu širokopatní kolejnic
VH	- Válcovna předvalků a hrubých profilů
VHk	- Úpravna kolejnic
VHw	- Kontrola jakosti provozu VH
VO	- výroba železa a oceli
Z09422	- zámečnické práce
Z09863	- výstupní kontrola
Z09865	- vstupní kontrola
Z34827	- horizontální vyvrtávačka W160
Z44253	- karusel SK 25

1 Úvod

Vývoj lidské společnosti je bezprostředně podmiňován výrobou – technikou a technologií dané historické epochy. Technika a technologie se jako významný faktor podílí na procesu změn výrobního způsobu a naopak společenský a hospodářský systém vždy ovlivňoval stav a úroveň technologie.

Strojní inženýr technolog je vysoce kvalifikovaný pracovník, který komplexně stanovuje technologické postupy a zajišťuje technologickou přípravu rozsáhlé strojírenské výroby. Své uplatnění však nenalézá výhradně ve strojírenských podnicích, ale i ve velkých podnicích s odlišným hlavním výrobním programem. Součástí těchto podniků jsou strojírenské závody zabezpečující provoz hlavního výrobního zařízení. Sem patří i velké hutní podniky jako jsou například Třinecké železářny, a. s. (TŽ). Jejich součástí je hned několik strojírenských závodů zabývajících se výrobou náhradních dílů, nástrojů apod.

Zůstaneme-li u hutní výroby, pak i při finalizaci válcovaných produktů se používá technologie strojního obrábění jako je například loupání oceli či jiná strojní úprava povrchu materiálu.

K obrábění patří také dělení válcovaného materiálu řezáním na strojních kotoučových pilách. Příkladem takového obrábění ve výrobním procesu v Třineckých železárnách je dělení kolejnic, kterému se věnuji v této diplomové práci.

Kolejnice o vysoké teplotě je pro standardní obráběcí postupy neobvyklý materiál. Odlišným mechanickým vlastnostem oceli vysoké teploty je nutné přizpůsobit jak geometrii řezného nástroje, tak i řezné podmínky. V diplomové práci je řešena nejen kvalita řezu, ale i hlučnost procesu dělení návrhem nové technologie dělení kolejnic.

Charakteristickým rysem současné strojírenské výroby je neustálý růst produkce a snaha o urychlování výrobního procesu. Výběr správné koncepce řezání ve výrobě je rozhodující pro pozdější konkurenceschopnost a pro budoucnost podniku.

2 Cíl práce

Základním cílem mé diplomové práce je rozpracování a praktické ověření nové technologie řezání kolejnic za tepla ve výrobním procesu. Tento cíl bude splněn na základě realizace následujících úkolů v rámci teoretických a praktických prací:

- rozbor stávajícího postupu řezání kolejnic za tepla ve výrobním procesu v Třineckých železárnách, a. s.,
- analýza požadavků na tvarovou přesnost a strukturu povrchu plochy,
- rozbor stávajícího stavu hlučnosti procesu, dosahované kvality řezu,
- měření teploty a rozbor mechanických vlastností řezaných kolejnic,
- na základě poznatků těchto rozborů navrhnout vhodnou metodu dělení kolejnic,
- praktické ověření navrhované metody,
- technicko-ekonomické zhodnocení.

3 Dělení materiálu

Tyčový válcovaný i tažený materiál se musí před vlastním obráběním rozřezávat na potřebné délky, podle požadovaných rozměrů konečného obrobku. Dělit obráběné materiály nebo součásti je však třeba i v případě litých nebo tvářených polotovarů, a to např. při odstraňování otřepů, švů, výronků, někdy i při oddělování několika součástí z desek, pásů nebo jiných rozměrnějších polotovarů. [3]

K nejpoužívanějším metodám dělení materiálu patří:

- dělení rozřezáváním (pilový list, pilový kotouč, pilový pás),
- dělení rozbrušovacím kotoučem,
- dělení třecím (frikčním) kotoučem,
- dělení rotačních součástí upichovacím nožem na soustruhu,
- dělení stříháním a lámáním,
- tepelné dělení (plamen, elektrický oblouk, plazma, laser, elektronový paprsek),
- dělení nekonvenčními metodami obrábění (elektrojiskrové řezání, vodní paprsek atd.). [3]

3.1 Řezání na kotoučových pilách

Řezání na kotoučových pilách je produktivní způsob dělení, který umožňuje poměrně přesný a kvalitní řez.

Výhodou oproti strojním rámovým pilám je, že kotouče nemají „mrtvý čas“ a oproti pásovým pilám jsou produktivnější, rychlejší a přesnější. Jejich řez je precizní, nevyžaduje další úpravy a opravy řezaných materiálů. [1]

Určitou nevýhodou je větší prořez materiálu, který závisí na tloušťce pilového kotouče. [1]

Pilové kotouče

Nástrojem pro řezání na kotoučových strojních pilách je pilový kotouč. Podle provedení existuje pět základních typů kotoučů na kov:

- 1) HSS rychlořezné kotouče,
- 2) Segmentové HSS pily,
- 3) Pily s SK plátky,
- 4) Frikční pily,
- 5) VHM pily na celotvrdé materiály.



Obr. 3.1 HSS rychlořezný kotouč



Obr. 3.2 Zubový segment segmentové pily

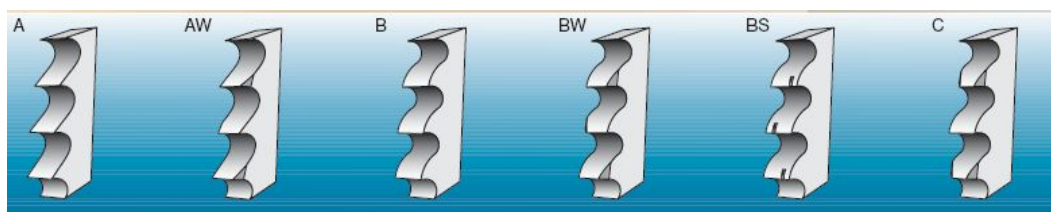
Tabulka 3.1 Srovnání pilových kotoučů

	HSS pil.kotouč	Pilový pás	Frikční pila (trubky)	Segmentová pila
Kvalita povrchu	dobrá	špatná	velmi špatná	dobrá
Absence otřepů	ano	ano	ne	ano
Náklady na řez	velmi nízké	vysoké	nízké	vysoké
Rozměr řezaného kusu	max 160 mm	velmi dobrý	dobry	dobry
PVD povrchová úprava	ano	někdy	ne	někdy
Řezná rychlost	dobrá	velmi špatná	velmi dobrá	standardní

Zuby a řezná geometrie HSS pilového kotouče

HSS pily dělí řezaný materiál třískovým obráběním. Důležitá je volba správného tvaru a geometrie zubů.

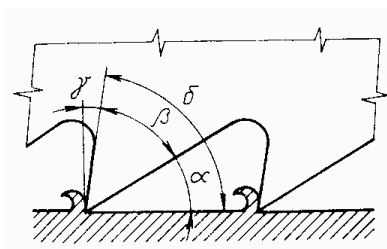
Druhy a značení ozubení kotoučových pil je znázorněno na obr. 3.3. U ozubení A, B je zub stejně široký jako tělo pily, u ozubení AW, BW má zub zkosený střídavě z levé a pravé strany. Ozubení typu B a BW se používají pro řezání materiálů na bázi železa. Pila se zuby BS (někdy také BR) má na zubu drážku o síle „0,1 x šířka listu“, střídavě z levé a pravé strany zubu v 1/3 šířky. Tento tvar byl vyvinut hlavně pro řezání trubek. Ozubení C má dva druhy zubu - předřezávací (špičatý, vyšší) a dořezávací („hranatý“, nižší), které jsou za sebou řazeny střídavě. [12]



Obr. 3.3 Druhy ozubení HSS kotoučových pil

Geometrie řezného klínu zubu

Geometrie řezného klínu zubu pilového kotouče závisí především na druhu obráběného materiálu. Úhel čela γ se pohybuje mezi 12° až 20° . Na tomto úhlu závisí, jak moc se pila bude "zakusovat" do materiálu. Úhel břitu β , má vliv na velikost úhlu řezu δ a na pevnost zubu.



Obr. 3.4 Geometrie řezného klínu zubu

Řezná rychlost a posuv

Správná volba obvodové rychlosti a rychlosti posuvu je rozhodující pro optimalizaci procesu řezání. Je třeba vždy dodržet správný poměr obou rychlostí. Stanovením optimálních řezných podmínek lze dosáhnout úspory nákladů na vlastní proces řezání řádově v desítkách procent.

Výpočet řezné rychlosti:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad (3.1)$$

Výpočet otáček:

$$n = \frac{1000 \cdot 60 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (3.2)$$

Výpočet posuvu na zub:

$$f_z = \frac{f \cdot 1000}{n \cdot z} \quad (3.3)$$

kde je: v_cřezná (obvodová) rychlost [m/s],

notáčky pilového kotouče [otáčky/min],

D průměr pilového kotouče [mm],
 f rychlost posuvu [m/min],
 f_z rychlost posuvu na zub [m/zub],
 n otáčky pilového kotouče [otáčky/min],
 z počet zubů nástroje [-]. [1]

3.2 Dělení rozbrušovacím kotoučem

Patří mezi velmi produktivní metody, jeho použití je však omezeno pouze pro specifické případy dělení těžkoobrobitelných materiálů, slabostěnných profilů nebo trubek, těžkoobrobitelných plastů, pro odstraňování otřepů tvářených nebo litých polotovarů, odřezávání vtoků, nálitků nebo ztracených hlav odlitků. Obecně je tato metoda vhodná pouze pro menší průměry nebo průřezy děleného materiálu, protože rozbrušovací kotouč se velmi rychle opotřebovává a tím zmenšuje svůj průměr. [3]

Výhodou tohoto způsobu dělení je úzký řez a z něj vyplývající malý odpad materiálu a dobrá kvalita plochy řezu (rovinnost, drsnost povrchu). Nevýhodou je velká spotřeba nástrojů a relativně vysoká energetická náročnost procesu.

Rozbrušovací kotouče

Rozbrušovací nástroj se skládá z brusných zrn, pojiva a pórů. Brusná zrna tvoří řezné klíny, póry mají funkci zubových mezer, ve kterých se hromadí třísky a pojivo spojuje brusná zrna dohromady, čímž tvoří pevné těleso různých velikostí.

Rozbrušovací kotouč má velmi malou tloušťku, pro běžné případy 1 až 3 mm, pro speciální případy však jen několik desetin mm. [3]

Materiál brusných zrn

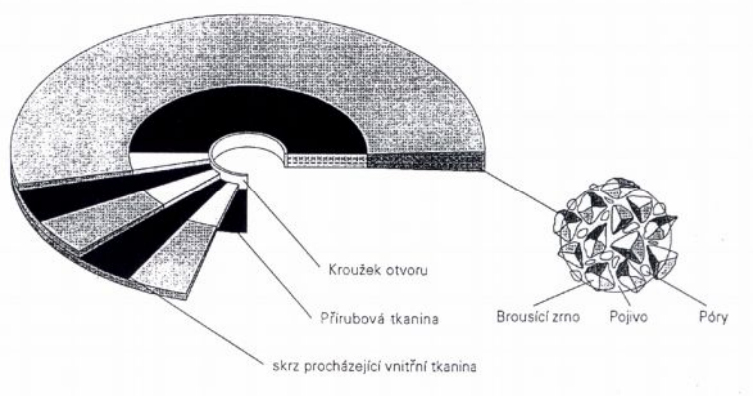
Brusné materiály se podle způsobu výroby rozdělují na přírodní a syntetické. Brusivem může být oxid hlinitý (Al_2O_3), umělý korund, karbid

křemíku (SiC), karborundum, polykrystalický diamant nebo kubický nitrid boru (KNB). Druh materiálu se volí v závislosti na vlastnostech obráběného materiálu.

Pojivo kotouče

Pojivo stmeluje brusná zrna, aby měl rozbrušovací nástroj požadovaný tvar, rozměr a vhodnou mechanickou pevnost. Má také velký vliv na samoostření nástroje. Pojivo musí splňovat velké množství podmínek, např. odolávat vlivům teploty, chladicích kapalin apod.

Pojivem je pro klasické brusivo nejčastěji pryž (dělení ocelí nebo litin „za mokra“, $v_c = 60 \text{ m s}^{-1}$) nebo pryskyřice (pro dělení těžkoobrobitelných materiálů nebo vyšší řezné rychlosti, až do 120 m.s^{-1}). Pryskyřičné kotouče mohou být nevyztužené (do průměru 500 mm), nebo vyztužené sklotextilem (nad průměr 500 mm). [3]



Obr. 3.5 Rozbrušovací kotouč

Zrnitost brusiva

Jakost brusného nástroje také závisí na velikosti brusných zrn, což má vliv na drsnost obrobeného povrchu.

Tvrdost kotouče

Jedná se o vlastnost, která charakterizuje odpor brusných zrn proti vylomení z nástroje. Vyjadřuje tedy míru houževnatosti a pružnosti pojivových

můstků mezi jednotlivými zrny brusiva. S tím souvisí uvolňování otupených brusných zrn, a to především u měkkých kotoučů, u kterých se uvolňují snadněji než u tvrdých. [3]

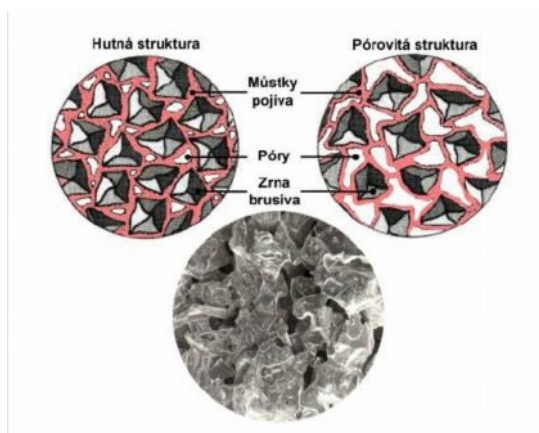
Měkký kotouč	PODMÍNKY	Tvrdý kotouč
Tvrdý, křehký	Obráběný materiál	Měkký, houževnatý
Velká	Kontaktní plocha	Malá
Vysoká	Řezná rychlost	Nízká
Nízká	Posuvová rychlost (v_{ft} , v_w)	Vysoká
Dobrá	Přesnost brusky	Špatná
Zkušený	Pracovník	Nezkušený

Obr. 3.6 Podmínky volby kotouče

Struktura kotouče

Struktura určuje poměr brusných zrn, pojiva a pórů v 1cm^3 . Čím vyšší je číslo, tím je vzdálenost mezi zrny větší. Pro volbu struktury všeobecně platí:

- čím tvrdší a křehčí je materiál, tím hutnější je kotouč,
- čím větší je dotyková plocha, tím pórovitější musí být kotouč,
- čím větší je množství odebraného materiálu, tím pórovitější musí být nástroj, aby se nezanášel. [3]



Obr. 3.7 Struktura kotouče

4 Výroba kolejnic v Třineckých železárnách, a. s.

Třinecké železářny

Třinecké železářny, a. s. patří k průmyslovým podnikům s nejdelší tradicí hutní výroby v České republice. Jejich založení se datuje rokem 1839, kdy byla v dubnu zafoukána první dřevouhelná vysoká pec. V novodobé historii po roce 1989 jsou ve svém oboru prvním úspěšně fungujícím soukromým podnikem. V současnosti jsou jednou z nejmodernějších hutních firem v zemi. Výrobu tvoří kvalitní třinecká ocel s vysokou čistotou a široký sortiment dlouhých válcovaných výrobků. [6]



Obr. 4.1 Grafické zobrazení historie Třineckých železáren, a. s.

Výroba kolejnic

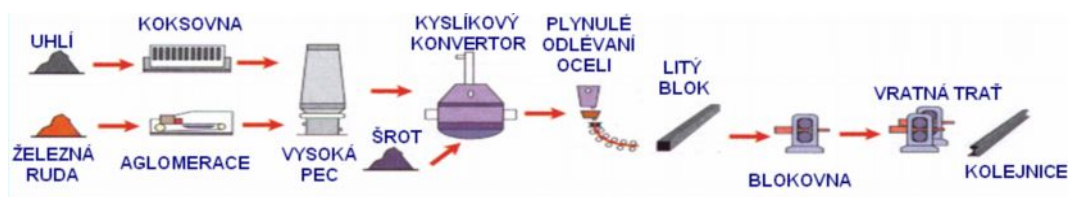
Kolejnice patří již od konce 19. století mezi základní výrobky Třineckých železáren, a. s. Od roku 1878, kdy se v Třinci kolejnice začaly produkovat, jich bylo dosud vyrobeno více jak 12 milionů tun. Celková produkce oceli ve zdejší

huti za stejné období přitom činí přibližně 150 milionů tun. Díky více než stoleté tradici výroby kvalitních kolejnic se Třineckým železárnám, a. s. podařilo úspěšně proniknout i na světové trhy. [17]

Současná produkce zahrnuje celkem 34 typů kolejnic ve třech skupinách:

- širokopatní kolejnice: 25 typů,
- výhybkové kolejnice: 5 typů,
- tramvajové kolejnice: 4 typy.

Výroba kolejnic je realizována na provozu Válcovna předvalků a hrubých profilů (VH), kterou tvoří blokovna I a navazující vratná, střední a sochorová (stará) trať. Blokovna I, která válcuje kontislitky nebo ingoty k dalšímu zpracování, pracuje v cyklu s vratnou tratí a nově i se starou tratí. [6]



Obr. 4.2 Schéma toku materiálu při výrobě kolejnic

Certifikát systému jakosti podle ČSN EN ISO 9001 se vztahuje na celý výrobní proces od zpracování poptávky, nabídky a kupní smlouvy, přes vývoj technologie a technický rozvoj, samotnou výrobu až po kontrolu a zkoušení hotových výrobků a služby zákazníkům. [6]

4.1 Výroba oceli pro kolejnice

Při výrobě oceli vhodné pro kolejnice se používá v Třineckých železárnách, a. s. kovonosná vsázka s vysokým podílem surového železa a nízkou úrovní výskytu nežádoucích doprovodných prvků. Zkujňování probíhá ve dvou kyslíkových konvertorech typu LD o obsahu 180 tun. Výpočet vsázky a navažování přísad je prováděno pomocí automatizovaného systému řízení. Odběr

vzorků a měření jejich teploty v konvertoru pak pomocí zvláštní sondy „Sublance“. Samotná kolejnicová ocel je produkována bezhliníkovou technologií výroby s bezstruskovým odpichem tavby. Pro ohřev oceli na vakuovací teplotu, dezoxidaci a případné korekce chemického složení slouží pánvová pec nebo chemický ohřev oceli. Odstraňování plynů teplotní a chemickou homogenizací a korekcí chemického složení probíhá na vakuovací stanici. [21]

Většina kolejnic pro České dráhy je vyráběna z ocelí podle mezinárodní normy UIC 860. Chemické složení oceli – rozbor tavby a přípustné odchylky chemického složení v hotovém výrobku podle normy UIC 860 - 0 (jakost 700, 900A) jsou uvedeny v tabulce 4.1. Mechanické vlastnosti – hodnoty pevnosti v tahu a tažnosti jsou uvedeny v tabulce 4.2. Podrobnější přehled základních materiálů používaných pro výrobu kolejnic je uveden v příloze č. 1. [22]

Tabulka 4.1 Chemické složení ocelí jakosti 700 a 900A

Jakost oceli	Chemické složení rozboru tavby v %				
	C	Mn	Si	P	S
700	0,40	0,80	0,05	Max.	Max.
	0,60	1,25	0,35	0,050	0,050
900A	0,60	0,80	0,10	Max.	Max.
	0,80	1,30	0,50	0,040	0,040
Dovolené odchylky v hotovém výrobku v %					
700 900A	± 0,02	± 0,05	± 0,05		

Tabulka 4.2 Mechanické vlastnosti ocelí jakosti 700 a 900A

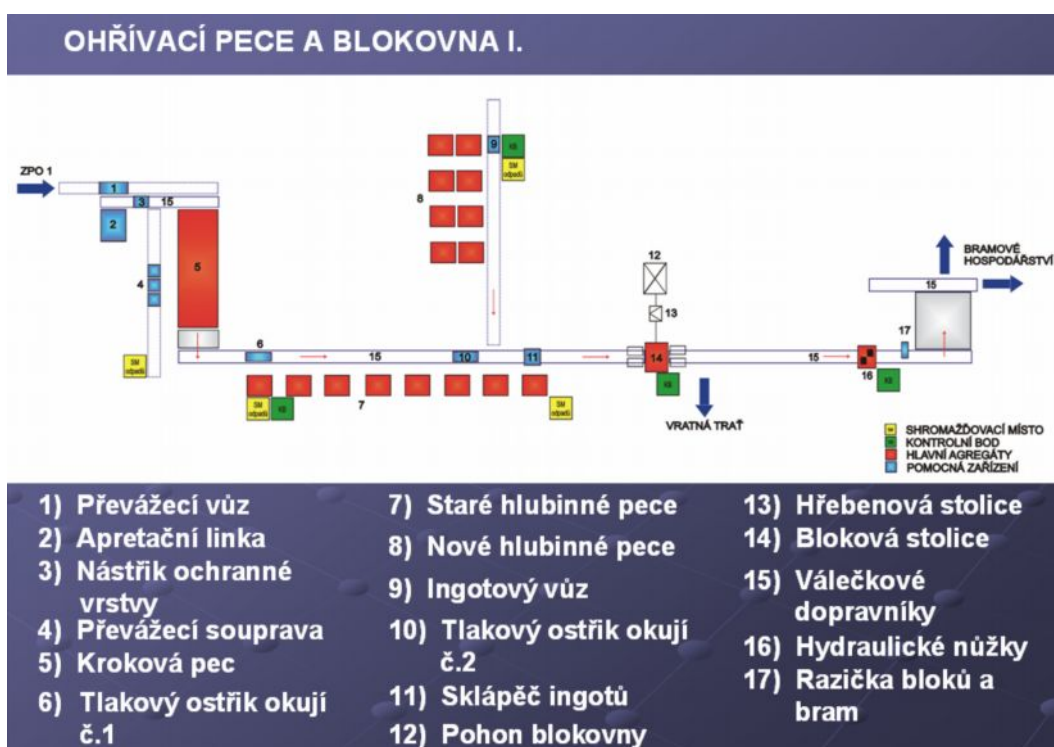
Jakost oceli	Pevnost v tahu R _m [MPa]	Nejnižší tažnost A ₅ [%]
700	680 až 830	≥ 14
900A	880 až 1030	≥ 10

4.2 Výroba předlitků a jejich ohřev v krokové peci

Předlitky jsou vyráběny plynulým odléváním oceli na pětiproudém radiálním zařízení. Ocel vytéká přes pánev do mezipánve a z ní je pak odebírán

vzorek pro stanovení chemické analýzy. Pro výrobu kolejnic jsou odlévány předlitky formátu 300 x 350 mm. Samotný krystalizátor je vybaven automatickým řízením hladiny oceli. Předlitky jsou děleny na požadované délky pálícím zařízením na bázi kyslíko-metanových hořáků. [21]

Před vstupem do krokové pece je prováděna apretace kontislitků. Předlitky jsou ohřívány pomocí směsného plynu v krokové peci, která zaručuje optimální rozdělení teplot v průřezu a délce, což dále garantuje předepsané rozměrové a mechanické hodnoty. Při sázení do pece je každý předlitek evidován do systému STM - sledování toku materiálu, který zajišťuje 100 % identifikaci předlitků v tvářecím procesu až po samotnou expedici hotových kolejnic. Automatický ohřev v krokové peci je řízen dynamickým modelem, který zabezpečuje dodržení ideální ohřevové křivky pro daný sortiment při minimálním oduhličení a nízké tvorbě nežádoucích emisí. Po výstupu z pece jsou z předlitků odstraňovány okuje vysokotlakými ostříky. Toto zařízení zaručuje dokonalé odstranění primárních okují.



Obr. 4.3 Schéma toku materiálu Ohřívací peci a Blokovnou I [17]

4.3 Válcování kolejnic

Na předválecím duu o průměru 960 mm je předvalek válcován devíti průchody na předepsaný vstupní rozměr pro vratnou trať.

Vratnou trať tvoří čtyři duo válcovací stolice s válci o průměru 880 až 900 mm uspořádanými v otevřeném pořadí. Na válcovacích stolicích je dosahováno devíti průchody více než deseti násobného stupně přetváření předlitků. Pro zabezpečení požadované povrchové kvality je na vstupu do kalibru instalován vysokotlaký ostřík okují, který zaručuje sekundární ostřík okují vzniklých při válcování a také mazání kalibrů válců. Předepsaná doválcovací teplota je průběžně kontrolována a zaznamenávána. Poslední dvě stolice s předpjatými stojany zaručují vysokou tuhost při minimálním rozptylu rozměrových tolerancí po celé délce kolejnice. [17]

Průměrná doba válcování jednoho bloku kolejnice je 3 - 4 minuty. V tomto čase také musí být zvládnuty následující výrobní operace až po odsun kolejnic na chladicí lože.

Za poslední stolicí je umístěno měření rozměrů kolejnic za tepla pro kontinuální měření celého pásu kolejnice.

4.4 Odřez technologického odpadu a chlazení kolejnic

Technologický odpad řezaný za tepla

Po doválcování bloku kolejnice obsahuje vývalek v obou koncích dutiny a jiné vnitřní vady. Tyto vady způsobí po ochlazení vývalku na okolní teplotu rozevření konců kolejnice (viz obr. 4.4). Kolejnicí s takto rozevřeným koncem pak nelze zavést mezi přesné rovnací kladky rovnačky MDS. Tvar a rozměry rovnacích kotoučů jsou pro každý typ kolejnice jiné a zohledňují jen malé přípustné odchylky tvaru průřezu kolejnice. [20]

Tyto vnitřní vady rovněž představují riziko jejich dalšího šíření nebo případně lomu kolejnice za působení vyššího vnějšího zatížení při hranění a následném rovnání.



Obr. 4.4 Technologický odpad řezaný za tepla

Přední konec bloku kolejnice s materiálovými vadami je tedy nutné odstranit ještě před vstupem do kotoučové rovnací linky MDS. Podle typu kolejnice a průřezu předvalku je délka předního odpadu 800 až 1100 mm. Odpad je odřezáván ihned po doválcování bloku kolejnice. Řezaným materiálem je tedy kolejnice vysoké teploty – odtud je také název „Technologický odpad kolejnic řezaný za tepla“.

Zadní konec je odřezáván až s nerovnaným pásmem v Úpravně kolejnic. Rozevřené zadní konce vývalku nečiní problémy při zavádění do rovnačky. Materiálové vady jako jsou trhliny se šíří do míst s nižším napětím, tedy směrem ke konci rovnané kolejnice.

Zařízení pro řezání kolejnic za tepla

Pro řezání kolejnic za tepla jsou k dispozici dvě strojní kotoučové pily: pila Škoda a pila Demag. Oba stroje mají pevně nastavenou rychlost posuvu a rychlost otáčení pilového kotouče:

- otáčky pilového kotouče $n = 970 \text{ ot/min}$,
- rychlost posuvu pilového kotouče $v_f = 0,087 \text{ m/s}$.

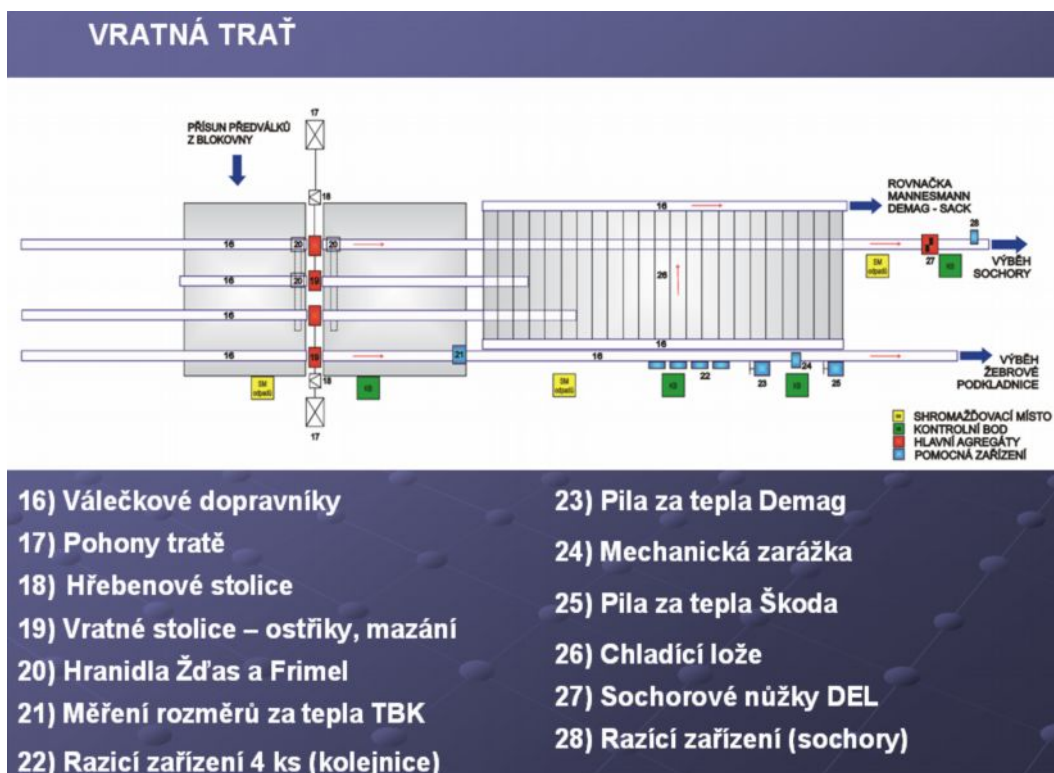
Změna řezných rychlostí je možná volbou pilových kotoučů s různým počtem řezných zubů. Případně lze změnu řezných rychlostí provést odborným

elektrotechnickým pracovníkem změnou zapojení napájení jednotlivých elektrických pohonů.



Obr. 4.5 Pila Škoda pro řezání kolejnic za tepla

Řezání technologického odpadu je prováděno bez upínání kolejnic přímo na válečkovém dopravníku vedoucím z válcovny. Uspořádání pil u chladicího lože je patrné z obr. 4.6.



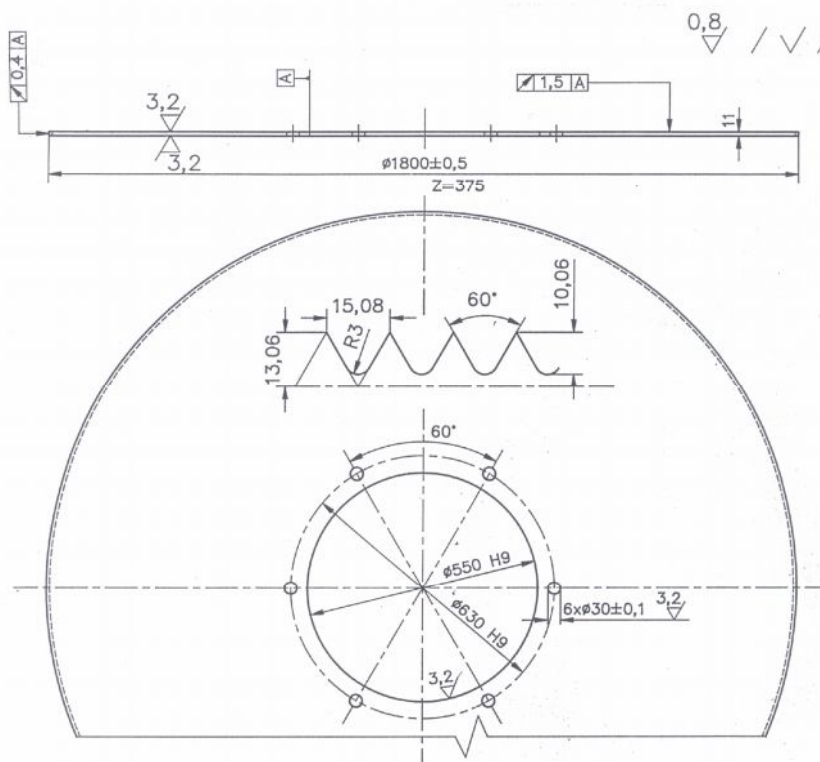
Obr. 4.6 Schéma toku materiálu Vratnou tratí [17]

Obě pily původně sloužily k rozřezání vývalku kolejnice na kratší pásy v délkách 28 metrů nebo 39 metrů. Tyto pásy pak byly zpracovávány v Úpravně kolejnic (VHk) na maximální zakázkové délky 36 metrů. V současné době je na pile Škoda prováděn pouze odřez technologického odpadu a na chladicí lože jsou odsunovány pásy kolejnice v délce 78 metrů. Další řezání kolejnic je prováděno v Úpravně kolejnic v zakázkových délkách do 75 metrů.

Pila Demag je v současnosti využívána při výrobě žebrové podkladnice. Slouží k rozřezání bloku podkladnice na kratší pásy, které jsou dále zpracovávány ve středisku Drobné kolejivo (Dk).

Nástroj pro řezání kolejnic za tepla

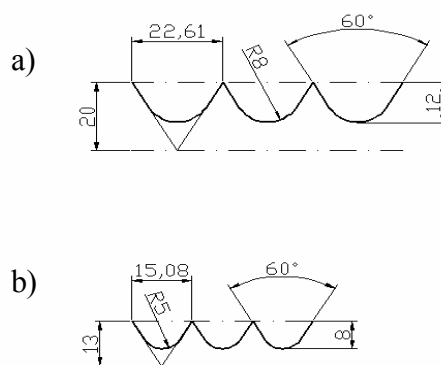
Nástrojem pro řezání na pilách Škoda a Demag jsou pilové kotouče o průměru $D = 1800$ mm (viz obr. 4.7). Kotouče jsou vyráběny z oceli třídy 12 060. Jsou používány kotouče tloušťky 8 mm až 12 mm.



Obr. 4.7 Pilový kotouč pro řezání kolejnic za tepla

Původně se používaly pro řezání kolejnic za tepla pilové kotouče s tzv. vybráním. Tloušťka v místě ozubení byla největší (12 mm) a postupně směrem ke středu kotouče se zužovala (8 mm). To zajišťovalo nižší tření při řezu. Výroba těchto typů kotoučů je však nákladnější. V dnešní době se proto používají kotouče s konstantní tloušťkou.

Rozměry řezných zubů a zubová rozteč jsou různé podle počtu zubů po obvodu (viz obr. 4.8). Vrcholový úhel zubu je vždy 60° .



Obr. 4.8 Rozměry řezných zubů
a) pilový kotouč s 250zuby, b) pilový kotouč s 375zuby

Trvanlivost nástroje je 800 až 1300 řezů v závislosti na řezaném materiálu a podle počtu zubů a tloušťky užitého kotouče. Renovace pilových kotoučů (ostření a nauhličení zubů) je prováděno v Nástrojárně úpravny kolejnic.

Ražení identifikačního kódu

Na každou odválcovanou kolejnici je v souvislosti se sledováním toku materiálu (STM) raženo číslo tavby, číslo licího proudu a příslušné pořadové číslo předlitku v licím proudu a to automaticky čtyřmi stacionárními razíciemi stroji. Ražení probíhá současně s odřezem technologického odpadu.

Odsun kolejnic na chladicí lože

Po odřezání technologického odpadu z předního konce jsou pásy kolejnice odsunovány na chladicí lože. Při odsunu na chladicí lože je prováděn předohyb

kolejnice s cílem minimalizovat zbytkové napětí uvnitř kolejnice. Doba chlazení kolejnice je 3 až 4 hodiny.

4.5 Rovnání kolejnic

Po ochlazení kolejnice pod 65°C jsou kolejnice rovnány na rovnacím zařízení MDS. Kombinace dvou rovnacích agregátů umožňuje kvalitní rovnání v horizontální a vertikální ose. Na tomto zařízení, jež se skládá z devítikotoučové horizontální rovnačky s průměrem válců 1000 mm a devítikotoučové vertikální rovnačky s průměrem válců 670 mm, lze rovnat kolejnice o hmotnosti 30 až 79 kg na jeden metr délky a pevnosti do 1400 MPa. Rovnání probíhá podle nejprísnějších požadavků na přímost pojezdové hrany. [20]

Při této technologii rovnání vzniká další technologický odpad tzv. nerovnané pásmo na obou koncích rovnané kolejnice. Nerovnané pásmo je odřezáváno při řezání zakázkových délek v Úpravně kolejnic.

4.6 Měřicí centrum

Po vyrovnání prochází každá kolejnice měřícím centrem. To je vybaveno laserovým zařízením, které umožňuje měřit kontinuálně přímost pojezdové hrany ve vertikálním i horizontálním směru a všechny předepsané příčné rozměry kolejnic. Parametry jsou měřeny s přesností $\pm 0,05$ mm. [18]

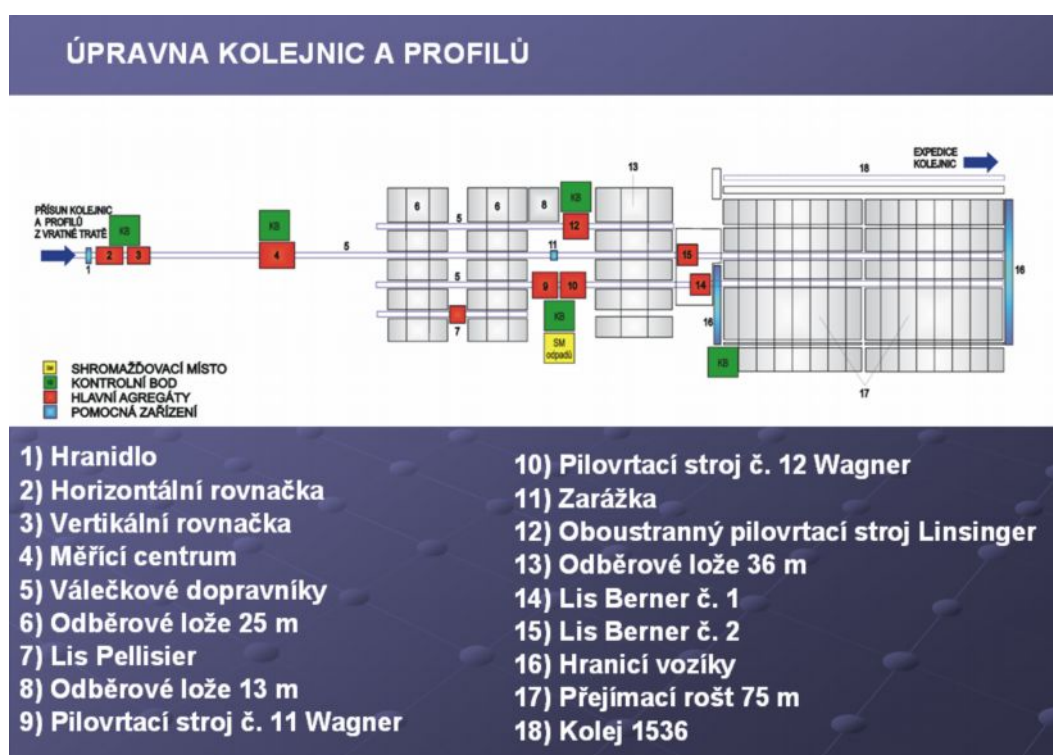
Povrchové vady jsou kontrolovány linkou Edytron osazenou celkem deseti zkušebními hlavicemi. Šest dynamických sond slouží ke zjišťování podélných vad na kolejnicích. Čtyři statické sondy jsou pak určeny pro detekci příčných vad. [18]

Pro kontrolu vnitřní homogenity a podpovrchových vad je používána ultrazvuková linka Sonotron, jež je vybavena dvaceti ultrazvukovými sondami. Jednotlivé sondy jsou rozmístěny tak, aby pokryly části kolejnice požadované normami a zákazníky. Kalibrace linky je pravidelně prováděna předepsanou kalibrační kolejnicí. [18]

4.7 Dělení a dorovnávání konců kolejnic v Úpravně kolejnic

Kolejnice jsou děleny na pilovrtacích strojích na předepsané zakázkové délky s automatickou korekcí podle teploty kolejnice. V případě požadavku je také prováděno děrování konců kolejnic.

Pro tyto výrobní úkony jsou v Úpravně kolejnic celkem tři zařízení: dva pilovrtací stroje Vágner (P11 a P12) a oboustranný pilovrtací stroj Linsinger (OPV). [19]



Obr. 4.9 Schéma toku materiálu Úpravnou kolejnic [17]

K zajištění předepsané přímosti konců slouží dvě samostatná pracoviště. Každé je složeno z třímetrového laserového pravítka proměřujícího přímost ve vertikální a horizontální rovině a z hydraulického lisu sloužícího pro případné dorovnávání konců v poloautomatickém režimu. Konce jsou proměřovány na základě předepsaných norem přímosti 1,5 metrovým nebo 3 metrovým pravítkem. [19]

4.8 Nástrojárna úpravny kolejnic

Nástrojárna úpravny kolejnic slouží pro renovaci pilových kotoučů používaných při dělení kolejnic ve výrobním procesu.

Broušení řezných zubů pilových kotoučů určených pro řezání kolejnic za tepla je prováděno na starším zařízení pomocí kopírovací šablony. Zvýšení tvrdosti řezných zubů po přebroušení je dosahováno jejich nauhličením.



Obr. 4.10 Broušení řezných zubů pilového kotouče pro řezání kolejnic za tepla

Broušení řezných zubů pilových kotoučů s SK plátky pro pilovrtací stroje je prováděno na CNC zařízeních Vollmer. Případná výměna poškozeného plátku ze slinutého karbidu na pilových kotoučích je provedena pájením bronzem.



Obr. 4.11 Zařízení pro broušení pilových kotoučů s SK plátky

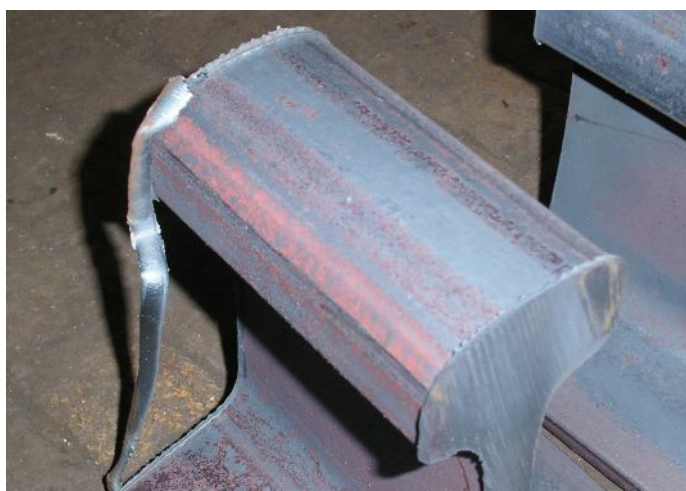
5 Analýza požadavků na novou technologii dělení

Řezání materiálu v teplém stavu je poměrně výkonný a produktivní způsob dělení. Jeho nevýhodou je horší kvalita řezu. Z tohoto důvodu je řezání za tepla používáno v procesu výroby kolejnic pouze k odřezu technologického odpadu. Snížená jakost řezu se tak neprojeví na finálním výrobku, jelikož následuje odřez nerovnaného pásma a řezání kolejnic na zakázkové délky.

Kvalita hotových výrobků, ale není jediným kritériem, které má výrobní proces splňovat. Z hlediska současných požadavků na výrobní proces musí zařízení a technologie vyhovovat bezpečnosti a hygieně práce, automatizaci výrobních operací, optimální spotřebě nástrojů a jejich dostupnosti apod.

5.1 Požadavek na menší otřep

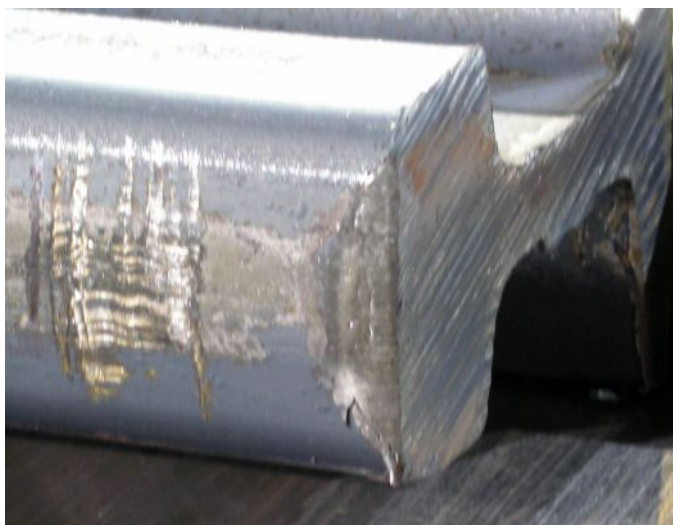
Řezání materiálu za tepla je doprovázeno tvorbou velkého otřepu. Na jeho velikosti se podílí odlišné vlastnosti materiálu způsobené vysokou teplotou a také trvanlivost nástroje.



Obr. 5.1 Otřep způsobený řezáním za tepla

Velký otřep, který zůstává na kolejnici po odřezu technologického odpadu, způsobuje tvorbu otlaků na pojezdové hraně kolejnice při rovnání v kotoučové rovnací lince.

Otřep vzniklý za tepla je dostatečně tvárný a působením velkých tlaků rovnacích kotoučů je obvykle zalisován do kolejnice. V případě extrémně velkých otřepů nedojde k jeho úplnému zalisování a otřep přilne na rovnací kotouč. Otáčením kotouče pak vznikají periodické otlaky na kolejnici.



Obr. 5.2 Zalisovaný otřep po rovnání

Z hlediska kvalitativních požadavků na hotovou kolejnici specifikovaných v normách hloubka otlaků sice nepřekračuje přípustných 0,4 mm, ale je nežádoucí jejich periodicitu.

Tvorba velkých otřepů je v současnosti řešena častější, preventivní výměnou nástroje.

5.2 Požadavek na vyšší kvalitu řezné plochy pro laserové měření délek

Pro automatizovaný provoz v Úpravně kolejnic je délka kolejnice důležitou informací. Automat na základě délky může rozhodnout o dalším pohybu materiálu v toku výroby.

Souřadnice případných výřezů zjištěných Měřícím centrem rozhodují o zakázkových délkách a tedy i dalším pohybu bloku kolejnice. Úsek s pilovrtacími stroji Vágner zpracovává délky do 75 metrů a úsek s oboustranně pilovrtacím strojem zpracovává kolejnice do 36 metrů.

V dalším toku materiálu jsou velkým nedostatkem málo přesné informace o krátkých délkách odřezů a výřezů při jejich automatickém odsunu z pilovrtacích strojů.

Krátký odpad délky do 1400 mm je odsunován z pilovrtacích strojů přes sklopnou desku a hřebelák do kontejneru. Délka tohoto odpadu je limitována šířkou kontejneru. Delší odpad je dopravován z pilovrtacích strojů pomocí válečkového dopravníku. Při odsunu z válečkového dopravníku pomocí příčných vlečníků je odpad dále tříděn na délky do 4000 mm a na délky do 9000 mm. Minimální délka kolejnice, kterou lze přepravovat válečkovým dopravníkem je 2000 mm. Z toho vyplývá, že nesmí být odřezána kolejnice v délce 1400 mm až 2000 mm.

Dále v upínacím prostoru pilovrtacích strojů nelze umístit poháněné válečky. Krátká kolejnice musí být vytlačena kolejnicí následující na přesné místo odsunu a nelze ji vrátet zpět k dodatečnému rozřezání. Důležitá je tedy i informace o přesné poloze kolejnic na dopravníku.

Při nepřesném měření délek odpadu (odřezů a výřezů) dojde k jeho odsunu na nesprávné místo. Tím dojde ke vzpříčení krátké nebo naopak dlouhé kolejnice při její dopravě.

Naměřování délek při bezzarážkovém dělení kolejnic je prováděno pomocí automatického měřicího zařízení, které se skládá z:

- odvalovacího kolečka s inkrementálním čidlem,
- pevných fotozávor umístěných ve válečkovém dopravníku,
- poháněče, který se skládá ze dvou poháněných válečků svírajících kolejnici shora a zespod,
- elektronických čidel pro měření teploty,
- řídicí výpočetní techniky a softwaru pro korekci teplotních chyb.

Nepřesnosti vznikající z nedokonalostí třecího převodu odvalovacího kolečka jsou korigovány několika pevnými fotozávorami. Rovnoměrnost pohybu kolejnice na válečkovém dopravníku zejména při akceleraci a brzdění obstarává poháněč.

Toto zařízení naměřuje zakázkové délky s dostatečnou přesností až do 75 metrů. Požadované tolerance délek dle podnikové normy PN TŽ 420190 jsou:

- do 24000 mm ± 6 mm,
- 24000 až 36000 mm ± 10 mm,
- nad 36000 mm ± 20 mm. [22]

Pro měření délek do 2000 mm je však toto zařízení málo přesné. Chyba měření je až 200 mm. Příčinou je relativně krátká dráha pohybu kolejnice. Nepřesnosti měření vznikají při zrychlení, brzdění kolejnice, přísunu odvalovacího kolečka a jeho třecím převodu.

V prostoru pilovrtacího stroje nelze umístit dostatečný počet pevných fotozávor ke korekci těchto chyb měření. Z tohoto důvodu je automatické měřicí zařízení doplněno za pilovrtacím strojem Linsinger o laserové měření.



Obr. 5.3 Laserové měřicí zařízení

Tvoří-li odrazovou plochu laserovému paprsku plocha vzniklá řezáním na pilovrtacím stroji (tj. pilovým kotoučem s SK plátky), měření funguje bezproblémově. Odráží-li se paprsek od plochy zhotovené řezáním za tepla, měření často vůbec neprobíhá.

5.3 Požadavek na nižší hluchnost při řezání kolejnic za tepla

Řezání kolejnic za tepla je výrazným zdrojem hluku převyšující stanovené hygienické limity. Vysoká intenzita hluku procesu neohrožuje pouze obsluhu tohoto zařízení, ale i pracovníky přilehlých pracovišť (rovnací linka MDS, dílna přestavby rovnací linky MDS, ražení identifikačního kódu, pracovníky mezioperační kontroly apod.).

Na budovu haly přiléhají kanceláře mistrů provozních techniků a blízko haly je také správní budova managementu provozu VH. V těchto prostorách jsou požadovány hlukové limity ještě nižší.

Průvodní předpisy

- Směrnice EU o hluku 2003/10/ES o fyzikálních faktorech hluku

Zaměstnavatel je povinen chránit zaměstnance před poškozením sluchu způsobeným hlukem. Je-li pravděpodobné, že hladina zvuku na pracovišti bude 80 dB (A) nebo vyšší, kompetentní osoba musí provést náležité posouzení rizika. Součástí posuzování rizika je měření denních osobních hladin působícího hluku, které lze stanovit na základě měření akustického tlaku v pracovním prostředí, přičemž se bere v úvahu prostorové uspořádání dílny, postup vytvářející hluk, počet lidí vystavených vlivu hluku, délky působení hluku atd. Je-li však zřejmé, že existuje riziko hluku, měření se nemusí provádět a tudíž je třeba zaměřit úsilí na vhodná regulační opatření. Zaměstnavatelé musí provést kroky na snížení hluchnosti zdroje a působení hluku na zaměstnance je-li to přiměřeně proveditelné. V ideálním případě by měl být hluk regulován ve zdroji konstrukčním provedením nebo vhodným technickým způsobem. Není-li to však proveditelné, musí být poskytnuty vhodné chrániče sluchu. [5]

- Zákon č. 258/2000 Sb. O ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů v platném znění, § 30 až § 34

Zákonná právní úprava ochrany před nepříznivými účinky hluku je obsažena v zákoně č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů, v ustanoveních § 30 až § 34. K provedení tohoto zákona je vydáno prováděcí nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací a toto nařízení vlády je dnes náš základní předpis pro ochranu před nepříznivými účinky hluku pro všechna pracoviště obecně. Podle jeho ustanovení § 2 odst. 1 až 4 platí, že:

- 1) hygienický limit pro osmihodinovou pracovní dobu (dále jen "přípustný expoziční limit") ustáleného a proměnného hluku při práci vyjádřený
 - a) ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,8h}$ se rovná 85 dB,
 - b) expozicí zvuku $A E A,8h$ se rovná 3640 Pa, pokud není dále stanoveno jinak,
 - 2) hygienický limit ustáleného a proměnného hluku pro pracoviště, na nichž je vykonávána duševní práce náročná na pozornost a soustředění a dále pro pracoviště určená pro tvůrčí práci vyjádřený ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,8h}$ se rovná 50 dB,
 - 3) Hygienický limit pro pracoviště, na nichž je vykonávána duševní práce rutinní povahy včetně velínu vyjádřená ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ se rovná 60 dB. Jako doba hodnocení se v tomto případě přednostně volí doba trvání rušivého hluku,
 - 4) hygienický limit ustáleného a proměnného hluku pro pracoviště ve stavebách pro výrobu a skladování, s výjimkou pracovišť uvedených v odstavci 2 a 3, kde hluk nevzniká pracovní činností vykonávanou na těchto pracovištích, ale na tato pracoviště proniká ze sousedních prostor nebo je způsobován větracím nebo vytápěcím zařízením těchto pracovišť vyjádřený ekvivalentní hladinou akustického tlaku A je $L_{Aeq,T}$, se rovná 70 dB; na ostatních pracovištích nesmí tato hladina překročit 55 dB. [14]
- Nařízení vlády č. 148/2006 SB. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, § 8 odst. 1:

Riziko hluku vůči zaměstnancům musí být vylučováno nebo alespoň omezováno na minimum v souladu s dostupností protihlukových technických opatření. [23]

Pro potřeby této diplomové práce byla provedena vlastní hluková studie, která je uvedena v samostatné kapitole.

5.4 Dostupnost vhodných pilových kotoučů

Další nevýhodou řezání materiálu za tepla je dostupnost vhodných pilových kotoučů.

Tato metoda dělení materiálu je v současné době již málo využívaná. Renomovaní výrobci nástrojů upouští od sériové výroby těchto typů pilových kotoučů. Dodávky je nutné řešit kusovou zakázkovou objednávkou ve strojírenských podnicích s potřebným zařízením na jejich výrobu. Kusová výroba je pochopitelně dražší.

Pro přijatelnou cenu jsou pilové kotouče vyráběny bez tzv. vybrání (nebo také kónického tvaru), což se projevuje vyšším třením při řezu a tvorbou větších otřepů. Frézování při jejich výrobě bývá nahrazováno tzv. štípanou technologií (takto výrobce označuje postupné vystřihávání zubových mezer), což má vliv na nižší trvanlivost nástroje a také větší úběr materiálu při jeho broušení.

6 Kontrola hladiny hluku při řezání kolejnic za tepla

Hluk je každý nechtěný zvuk (bez ohledu na jeho intenzitu), který má rušivý nebo obtěžující charakter, nebo který má škodlivé účinky na lidské zdraví. Hluk se vyjadřuje a měří nejčastěji jako ekvivalentní hladina akustického tlaku ($L_{A,eq}$), jednotkou je decibel (dB). [15]

Postup zpracování

- Vytipování nejdůležitějších zdrojů hluku,
- měření hladin akustického tlaku v okolí zařízení a následný výpočet akustického výkonu zařízení pomocí softwaru izofonik 3.2,
- grafické znázornění předpokládaného šíření hladin hluku v průmyslovém interiéru provozu VH ve výšce 1,5 m nad úrovní podlahy pro osmihodinovou pracovní dobu.

Vstupní údaje studie

Měření hladin akustického tlaku v okolí zařízení pro řezání kolejnic na pile Škoda bylo provedeno měřicím přístrojem BK 2260 (viz obr. 6.1).



Obr. 6.1 Přístroj pro měření hladiny akustického tlaku BK 2260

Měření bylo provedeno cca 1 m od pily ve výšce 1,5 m. Měření probíhalo 17 min. V této době měření je zahrnuto jak řezání pilou, tak hluk z okolního zařízení. Naměřené hodnoty jsou:

- $L_{A,eq} = 94,5$ dB,

- $L_{Amax} = 115,6 \text{ dB}$,
- $L_{Amin} = 89,9 \text{ dB}$.

Samotné řezy pilou (měřeno 1 min, BK 2260) $L_{A,eq} = 101,3 \text{ dB}$,
 $L_{Amax} = 119,2 \text{ dB}$.

Měření hladin akustického tlaku v okolí dalších zařízení bylo provedeno obdobně. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.1.

Hluková situace uvnitř průmyslových hal je hodnocena výpočtovým modelem softwaru izofonik 3.2. Identifikace hladin akustického tlaku byly provedeny u významných stacionárních zdrojů hluku a nejsou zde zahrnuty takové zdroje hluku, které se vyskytují nahodile popřípadě jejich velikost a četnost je vzhledem k celosměnové hladině hluku zanedbatelná. Vzhledem k možnostem softwaru nezahrnuje studie hluk z pojezdu jeřábu, hluk vznikající při manipulaci s materiálem a hluk vznikající při používání ručního nářadí (např. ruční brusky apod.).

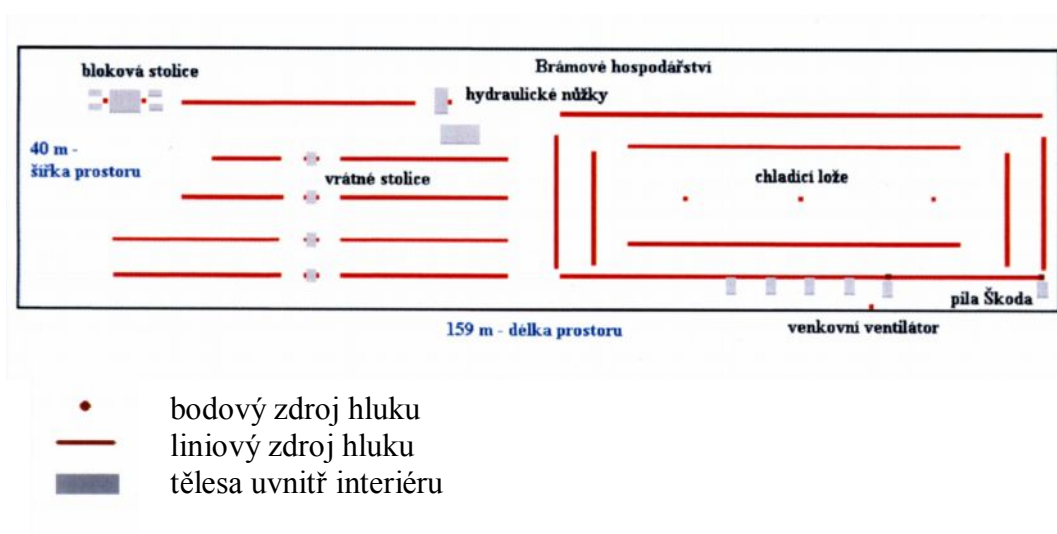
Tabulka 6.1 Naměřené hodnoty hlučnosti

Stacionární zdroje hluku	L_{WA} [dB]	Vytíženost	Poznámka
Bloková stolice (vratné duo)	107,8	8 hod/směnu	
Válečkové dopravníky	75,0 80,0	6 hod/směnu 2 hod/směnu	U vratných stolic. Z blokové stolice na hydraulické nůžky.
Hydraulické nůžky	103,5	2 hod/směnu	
Vratné stolice	103,0	6 hod/směnu	
Pila za tepla Demag	120,0	15 min/směnu	
Pila za tepla Škoda	120,0	30 min/směnu	
Posun materiálu po chladícím loži	106,0	4 hod/směnu	Plošný zdroj hluku – nahrazen několika bodovými a liniovými zdroji hluku.
Venkovní ventilátor	84,0	8 hod/směnu	

Podkladem pro blokové schéma Vratné tratě a chladicího lože byla výkresová dokumentace provozu VH. Schéma bylo zjednodušeno a upraveno pro výpočtové možnosti softwaru izofonik 3.2.

Zdroje hluku nezahrnuté do výpočtu předpokládaných hladin hluku:

- dva jeřáby,
- manipulace s materiálem,
- používání ručního nářadí.



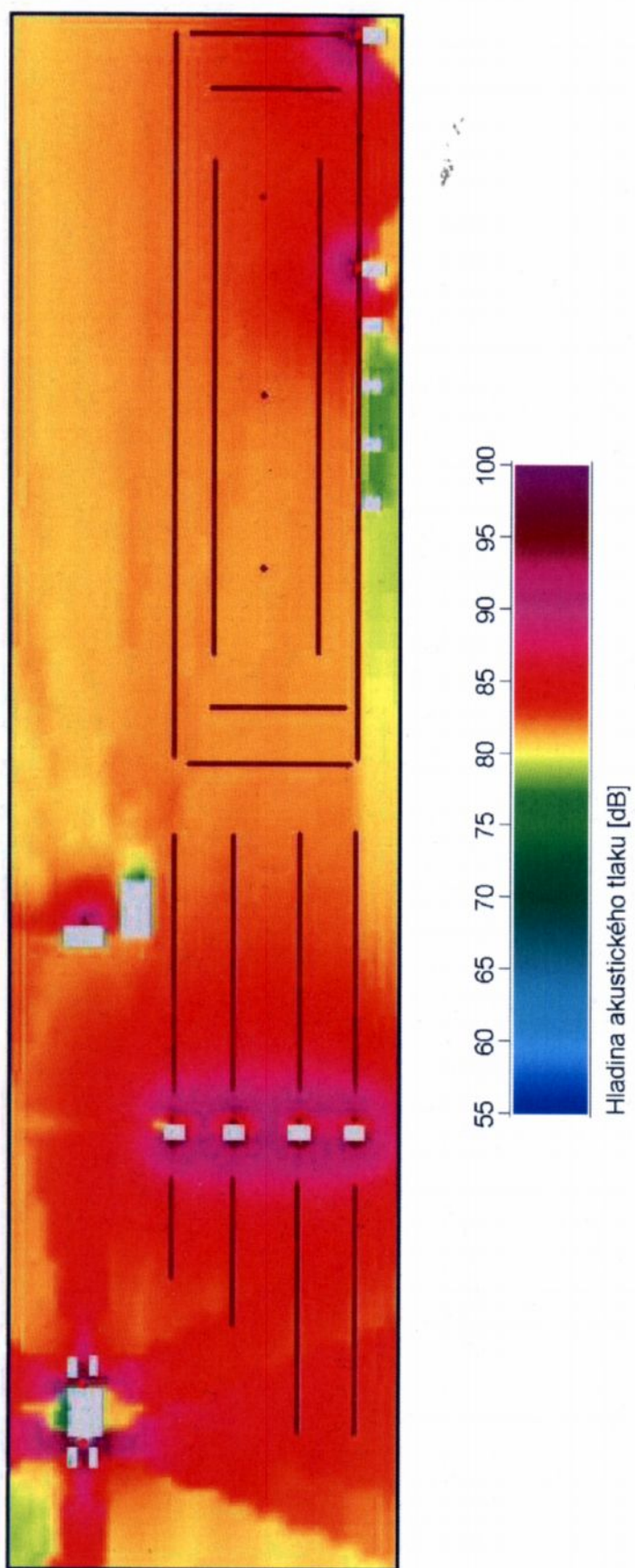
Obr. 6.2 Podklad pro výpočet šíření předpokládaných hladin hluku v interiéru

Výsledné grafické znázornění předpokládaného šíření hladin hluku v průmyslovém interiéru provozu VH zpracované výpočetním programem izofonik 3.2 je patrné z obrázku 6.3.

Závěr

Výpočtový hlukový model slouží jako předpoklad pro šíření hladin hluku v interiéru ve výšce 1,5 m nad úrovní podlahy pro osmihodinovou pracovní dobu.

Výsledné grafické zobrazení vypočtených hladin hluku nenahrazuje výsledky akreditovaného měření hladin akustického tlaku v pracovním prostředí pro zařazení prací do kategorií dle vyhlášky 432/2003 Sb.



Obr. 6.3 Předpokládané hladiny hluku v průmyslovém interiéru Válcovna předvalků a hrubých profilů

7 Integrita povrchu čelní plochy kolejnice

Ovlivňování funkčnosti povrchu výrobními metodami je možno vyjádřit pojmem integrita povrchu. Tento pojem zahrnuje jednak podmínky, za jakých byla funkční plocha vytvořena, bere do úvahu technologické metody a jejich vliv na vlastnosti plochy po obrobení a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na součástku. [16]

Nejvýznamnější a nejčastější jakostní ukazatele, které můžeme zařadit do integrity povrchu jsou:

- makrogeometrie obrobené plochy (odchylky tvaru),
- mikrogeometrie obrobené plochy (drsnot),
- změny fyzikálně-mechanických vlastností povrchové vrstvy - tvrdost (mikrotvrdost), zpevnění,
- zbytková napětí pod obrobeným povrchem,
- fyzikálně chemický stav povrchu. [16]

Funkčním požadavkem na čelní plochu kolejnice po odřezání odpadu za tepla je vhodná odrazová plocha pro laserové měření délek.

Laserové měření je založeno na vlnové podstatě světla a jeho šíření prostorem. Funkčnost této metody měření závisí na mnoha faktorech, jež některé nemusí souviset s integritou povrchu. Odraz laserového paprsku může například zhoršovat nebo naopak zlepšovat tenká vrstva procesní kapaliny, která na výrobku zůstala. Obdobně mohou působit okuje nebo jiné nečistoty na povrchu.

Přesné specifikace faktorů ovlivňujících funkčnost měření nepodávají ani výrobci laserových měřidel. V provozních podmínkách rovněž nelze zkoumat všechny vlivy působící na funkčnost laserového měření délky.

Dále uvádím jen některé parametry mikrogeometrie a makrogeometrie plochy, které by mohly ovlivňovat laserové měření. Hodnoty jsou porovnávány u plochy vyrobené řezáním pilovým kotoučem s SK plátky, kdy měření délek

probíhá bez obtíží a plochy zhotovené řezáním materiálu za tepla, kdy měření délky neproběhne vždy úspěšně.

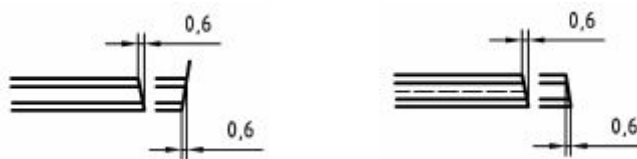
Měření byla provedena v rámci možností provozních podmínek a dostupných měřidel. Kontrola probíhala při výrobě kolejnic profilu UIC 60.

Kolmost čelních ploch konců kolejnic

Kolmost čelních ploch kolejnic je sledovaným parametrem dle podnikové normy PN TŽ 420190 při řezání kolejnic na pilovrtacích stojích pilovým kotoučem s SK plátky.

- dovolená odchylka kolmosti čela kolejnice..... max. 0,6 mm,

Hodnota platí pro svislou i vodorovnou polohu (viz obr. 7.1).



Obr. 7.1 Odchylka kolmosti čela kolejnice

Maximální naměřené hodnoty získané ze záznamu prováděných měření na pilovrtacích strojích jsou:

- max. odchylka kolmosti ve svislé poloze 0,6 mm,
- max. odchylka kolmosti ve vodorovné poloze 0,5 mm.

V případě řezání kolejnic za tepla bylo provedeno měření kolmosti stejným postupem jako je prováděna na pilovrtacích strojích pomocí úhelníku a spárových měrek. Správnost tohoto měření může být ovlivněna i nepřesnostmi rovinnosti. Maximální hodnoty získané z několika provedených měření jsou:

- max. odchylka kolmosti z naměřených hodnot ve svislé poloze 3,4 mm,
- max. odchylka kolmosti z naměřených hodnot ve vodorovné poloze ... 2,5 mm.

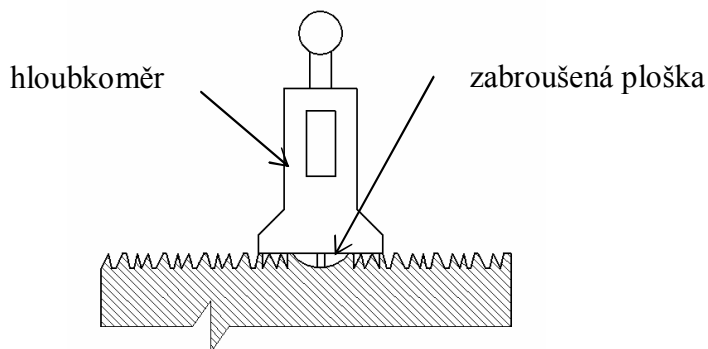
Rovinnost čelních ploch konců kolejnic

Kontrola rovinnosti čelních ploch konců kolejnic byla provedena metodou měření na základě odchylek přímosti ve vodorovném a svislém směru. Měření bylo provedeno opět pomocí úhelníku a spárových měrek. Obalová přímka se dotýká zjištěného profilu ve dvou nejvyšších bodech. Maximální naměřené odchylky rovinnosti respektive přímosti ve svislé a vodorovné poloze z provedených měření jsou:

- max. odchylka přímosti z naměřených hodnot ve svislé poloze..... 2,4 mm,
- max. odchylka přímosti z naměřených hodnot ve vodorovné poloze.... 1,5 mm.

Hloubka rýh na čelní ploše kolejnic po odřezání technologického odpadu za tepla

Hloubka rýh na čelní ploše konců kolejnic byla měřena pomocí hloubkoměru. Pro měření hloubky rýh bylo nutné nejdříve provést zabroušení malé plošky stopkovou bruskou do hloubky rýh tak, aby měřicí hrot hloubkoměru dosedl na dno rýhy viz (obr. 7.2).



Obr. 7.2 Měření hloubky rýh

Současně s měřením hloubky rýh by bylo vhodné sledovat i vliv opotřebení pilového kotouče například záznamem o počtu provedených řezů. Při dělení technologického odpadu ale nejsou vedeny přesné záznamy o trvanlivosti nástroje.

Pro měření byly odebírány vzorky na třech ranních směnách vždy na začátku a na konci směny. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7.1. Údaje o počtech řezů uvedených v této tabulce jsou přibližně stanoveny z časových intervalů odběru vzorku.

Tabulka 7.1 Naměřené hodnoty hloubky rýh na povrchu čela kolejnice po odřezu technologického odpadu.

číslo měření	přibližný počet řezů pilového kotouče	hloubka rýh[mm]
1	50	0,9
2	150	1,1
3	350	0,7
4	400	0,9
5	600	0,5
6	700	0,8

Maximální a průměrná hodnota hloubky rýh je:

- průměrná hodnota hloubky rýh z naměřených hodnot.....0,82 mm,
- maximální naměřená hloubka rýhy z naměřených hodnot..... 1,1 mm.

Drsnost obrobené plochy

Měření drsnosti povrchu bylo provedeno dotykovým profilometrem Hommelwerke Tester T 500. Kontrolu mikrogeometrie povrchu tímto přístrojem bylo možné provést pouze na čelní ploše kolejnic při dělení na pilovrtacích strojích pilovým kotoučem s SK pláty. Hluboké rýhy, které vznikají při dělení materiálu za tepla by mohly poškodit snímací hrot měřícího přístroje.

Sledovaným parametrem byla střední aritmetická úchylka profilu Ra. Měření bylo provedeno ve středu profilu hlavy kolejnice, kam dopadá laserový paprsek při měření délky.

Naměřené hodnoty uvedené v tabulce 7.2 jsou doplněny údajem o počtu řezů a číselným označením pilového kotouče při odběru vzorku.

Tabulka 7.2 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu (pilový kotouč s SK plátky)

číslo měření	číslo pilového kotouče	počet řezů pilového kotouče	Ra [μm]
1	31	10	3,4
2	31	314	3,2
3	31	647	2,9
4	54	98	3,0
5	54	522	2,4
6	54	829	1,1
7	48	55	4,1
8	48	363	3,5
9	48	628	3,2

Maximální a průměrná hodnota střední aritmetické úchylky profilu Ra jsou:

- maximální naměřená hodnota Ra..... 4,1 μm ,
- průměrná hodnota z naměřených hodnot Ra 3,0 μm .



Obr. 7.3 Měření drsnosti povrchu přístrojem Hommelwerke Tester T 500

Závěr

Na nefunkčnosti laserového měření se mohou podílet četné hluboké rýhy na obrobené ploše a také zhoršená kolmost a rovinnost čelního povrchu kolejnic, které mohou být způsobeny nepřesností obráběcího stroje nebo nedostatečným upnutím obrobku.

8 Mechanické vlastnosti a teplota dělené kolejnice

Přehled o nejdůležitějších mechanických vlastnostech konstrukčních materiálů podávají:

- zkoušky statické:

zkouška tahem, tlakem, ohybem, krutem, stříhem a lomové houževnatosti,

- zkoušky dynamické:

zkouška vrubové houževnatosti, dynamické lomové houževnatosti,

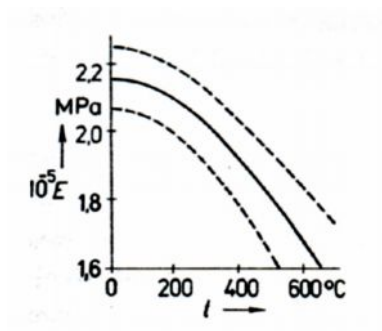
- zkoušky únavové pevnosti:

zkouška únavy kovů. [11]

Prakticky všechny výše uvedené zkoušky se mohou provádět i za jiné než obvyklé teploty místnosti (tj. 20°C). Např. zkouška tahem dle ČSN EN 1002-5 Kovové materiály – zkouška tahem – část 5: zkouška tahem za zvýšené teploty. Zkoušky nad 700°C se provádějí jen výjimečně, kladou totiž velké nároky na izolaci při odvodu tepla z čelistí a upínacích táhel. [4]

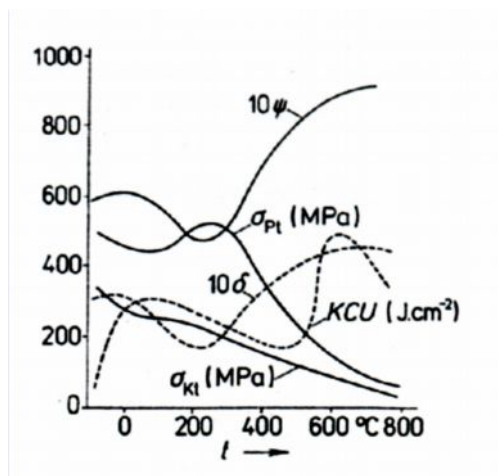
Závislost některých mechanických vlastností na teplotě

Moduly pružnosti s rostoucí teplotou zpravidla klesají. Na obr. 8.1 je znázorněna závislost modulu pružnosti v tahu – tlaku na teplotě pro konstrukční ocel. Čárkovaně je vyznačeno rozptylové pásmo. [11]



Obr. 8.1 Závislost modulu pružnosti v tahu – tlaku na teplotě

Mez pevnosti a mez kluzu se s teplotou vcelku zmenšují, ale ne vždy monotónně. Na obrázku 8.2 je zakreslena závislost meze pevnosti, meze kluzu, tažnosti, kontrakce a vrubové houževnatosti na teplotě pro měkkou ocel obvyklé jakosti. [11]



Obr. 8.2 Závislost meze pevnosti, meze kluzu, tažnosti, kontrakce a vrubové houževnatosti na teplotě

Z obrázku je zřejmé, že pevnost oceli nabývá lokálního minima něco málo nad běžnou teplotou. Kolem 250 °C existuje lokální maximum, po jehož překročení pevnost s teplotou stále klesá.

Kontrakce a tažnost stoupají, když pevnost klesá a naopak.

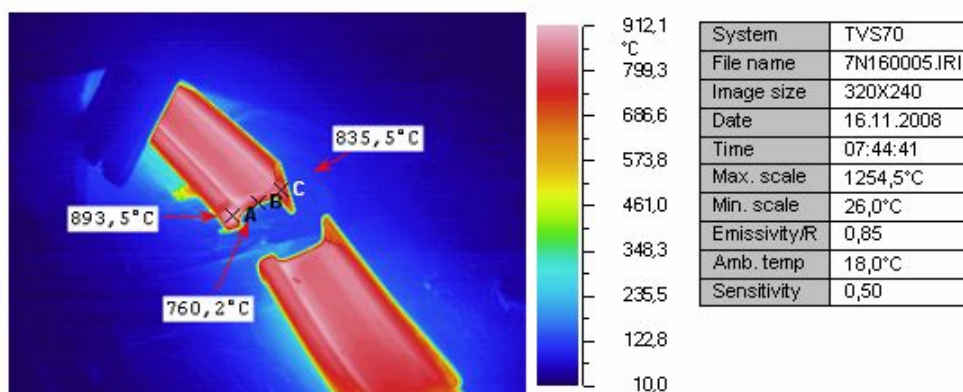
Vrubová houževnatost má dvě přechodové oblasti s náhlými změnami, z nichž první má význam pro posuzování křehkosti za nízkých teplot (pod bodem mrazu), druhá pro technologii (kování). Křehkost oceli se tedy projevuje jen za nízkých teplot, ale také v rozsahu asi od 300 do 500 °C (křehkost za modrého žáru).

Také lomová houževnatost s rostoucí teplotou stoupá nejprve mírně a po překročení přechodové teploty strměji. Proto jsou ocelové konstrukce mnohem náchylnější ke vzniku náhlých lomů za nízkých než za normálních teplot. [11]

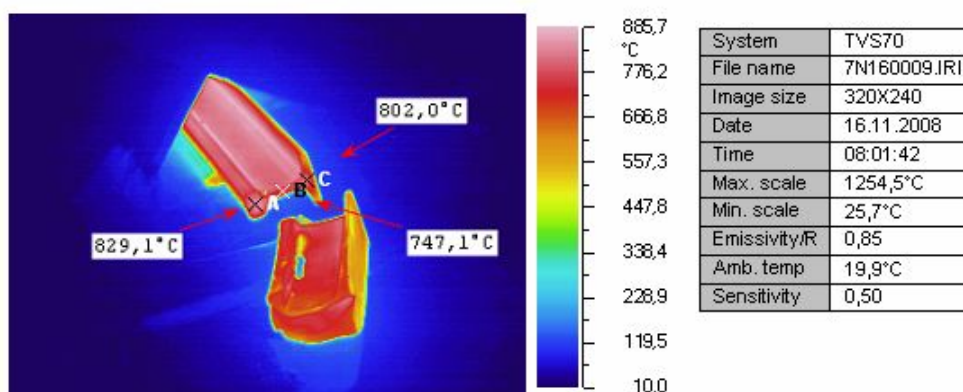
Lepší plastické vlastnosti a menší deformační odpor materiálu při vysokých teplotách jsou obvykle využívány při tváření za tepla. [4]

Měření teploty při odřezu technologického odpadu

Měření teploty kolejnice při řezání kolejnice za tepla bylo provedeno termovizní kamerou TVS70. Ke zpracování pořízených snímků byl použit software Thermography studio 2007.



Point	T°C	Emis.	Ta°C
A	893,5°C	0,85	18,0
B	760,2°C	0,85	18,0
C	835,5°C	0,85	18,0



Point	T°C	Emis.	Ta°C
A	829,1°C	0,85	19,9
B	747,1°C	0,85	19,9
C	802,0°C	0,85	19,9

Obr. 8.3 Měření teploty kolejnice

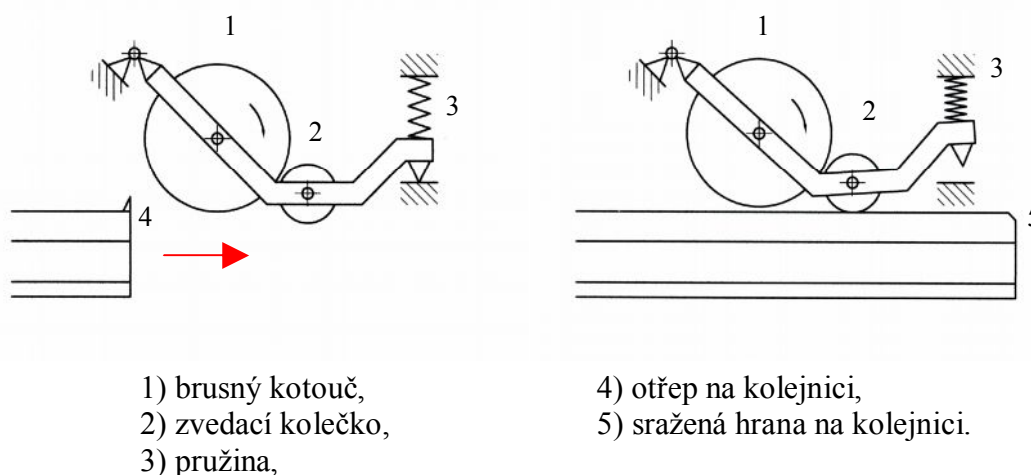
Závěr

Teplota dělené kolejnice je 750 °C až 890 °C. Konstrukční ocel o této teplotě má velmi malou pevnost. Mez kluzu v tlaku je $\sigma_{Kt} (R_e) - 71,5 \text{ MPa}$. Materiál je tvárný a málo elastický.

9 Dílčí návrhy řešení konkrétních požadavků

9.1 Zařízení pro srážení hrany a otřepu

Návrh jednoduchého zařízení pro srážení ostrých hran a otřepu vzniklých na kolejnici při odřezu technologického odpadu je schématicky znázorněno na obrázku 9.1. Rotující brusný kotouč je pomocí pákového mechanismu a pružiny přitlačován ke kolejnici. Průjezdem kolejnice pod brusným kotoučem dojde ke srážení hrany. Zvedací kolečko pak nadzvedne pákový mechanismus s bruskou. Místo brusného kotouče může být použita kotoučová fréza s ozubením ve šroubovici.



Obr. 9.1 Návrh zařízení pro srážení hran s otřepem

Pro rychlé odzkoušení navrhované metody srážení hran byla provizorně upravena kotoučová vzduchová bruska podle uvedeného schématu. Pákový mechanismus s bruskou byl umístěn na vstupu do kotoučové rovnací linky. Pomalejší pohyb kolejnice při jejím zavádění do rovnáčky vyhovoval dostatečnému odstranění otřepu.

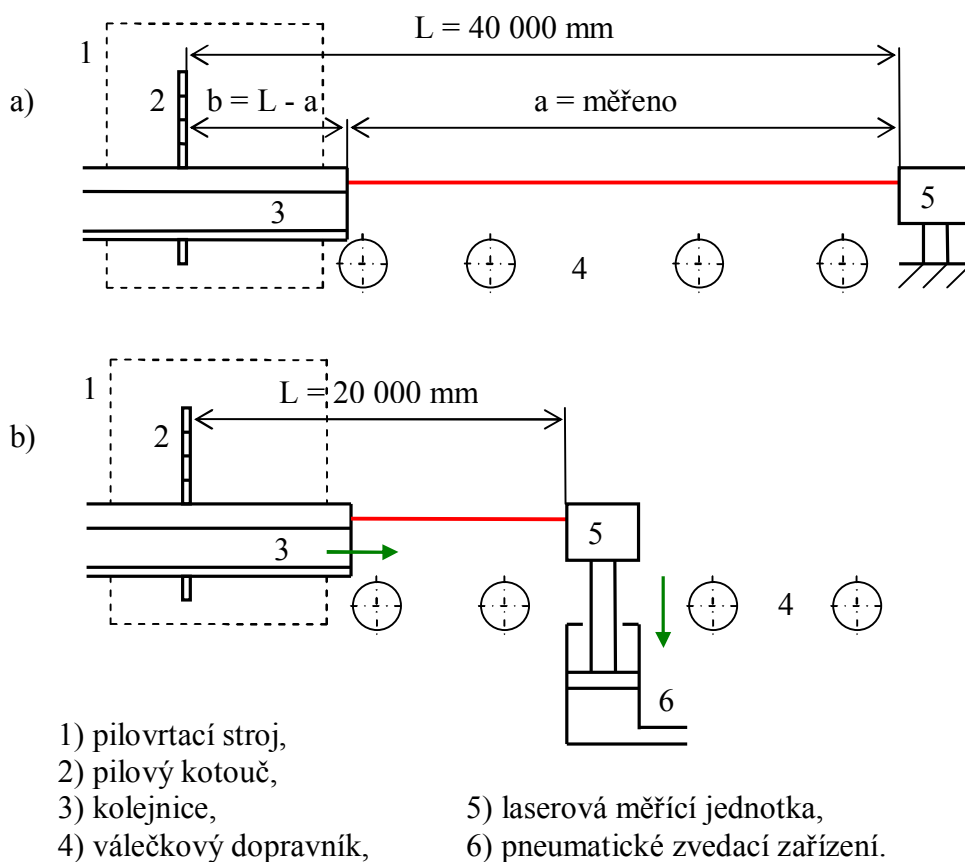
Delší zkoušení případně provoz tohoto provizorního zařízení nebyl možný. Zkoušené zařízení nebylo z hlediska bezpečnosti práce dostatečně zakrytováno a také neobsahovalo potřebné odsávací zařízení třísek a prachových částic

opotřebovaného kotouče. Vyšší prašnost při provozu brusky by také mohla způsobit poškození mechanismů rovnací linky.

9.2 Řešení funkčnosti laserového měření délek

Funkčnost laserového měření délek lze dosáhnout zajištěním takových podmínek, aby nedocházelo ke snížení výkonu paprsku při jeho odrazu. Toho je možné dosáhnout vhodnými vlastnostmi odrazové plochy (viz kapitola 5). Další možností snížení ztrát světelné energie je přiblížení zdroje laserového paprsku k měřenému objektu.

Princip laserového měření délek je zakreslen na obr. 9.2a. Laserová měřicí jednotka je umístěna ve vzdálenosti 40 000 mm od pilového kotouče. Měřena je vzdálenost ke kolejnici. Délka kolejnice je určena z rozdílu naměřené vzdálenosti ke kolejnici a známé vzdálenosti k pilovému kotouči.



Obr. 9.2 Laserové měření délek a) stávající stav, b) navrhované řešení

Sledováním měřené vzdálenosti ke kolejnici, kdy měření délek začne probíhat, bylo určeno vhodné umístění laserové měřicí jednotky. Je-li kolejnice vzdálena od měřicí jednotky do 20 000 mm, je zařízení plně funkční i v případě, že odrazovou plochu tvoří čelo kolejnice odřezané za tepla.

Posunutí laserové měřicí jednotky blíže k pilovrtacímu stroji znamená její umístění ve válečkovém dopravníku, kde se pohybuje kolejnice. Laserové zařízení ale slouží pro měření krátkých délek (viz kapitola 5), kolejnice se tedy při měření nachází v prostoru pilovrtacích strojů a ne na válečkovém dopravníku. Při dalším pohybu kolejnice je možné měřicí jednotku zasunout pod úroveň válečkového dopravníku například pneumatickým zařízením (viz obr. 9.2b).

9.3 Organizační a technická opatření při vysoké hlučnosti

Organizační opatření:

- použití vhodných osobních ochranných pracovních pomůcek (OOPP) a jejich umístění u mistrů – je doporučováno poskytnout OOPP (chrániče sluchu) i zaměstnancům, kteří zde pracují pouze omezenou dobu a nepravidelně, případně exkurzím,
- umístění cedulek: prostor (popř. zařízení) s možností zvýšené expozice hluku,
- uzavírání dveří (snížení expozice zaměstnanců) do velínů a vrat (šíření hluku do chráněného venkovního prostoru staveb),
- školení zaměstnanců dle požadavků NV č. 148/2006 Sb. § 8 odst. 3.

Technická opatření:

- pravidelná údržba strojního zařízení,
- možnost projektování technických opatření k odhlučnění významných zdrojů hluku,
- vhodný výběr a umístění nových strojních zařízení.

10 Návrh metody dělení kolejnic

10.1 Dělení kolejnic na kotoučových pilách po ochlazení vývalku

Požadavkům na nižší hlučnost procesu a požadované kvalitě řezu vyhovují metody dělení materiálu na kotoučových pilách za běžné okolní teploty. Nástrojem mohou být:

- HSS rychlořezné kotouče,
- segmentové HSS pily,
- kotouč s SK plátky.

V případě volby pilových kotoučů s SK plátky by tak došlo ke sjednocení druhů nástrojů používaných pro dělení kolejnic v procesu výroby. Tím by byl řešen i požadavek dostupnosti vhodného nástroje.

Odřez technologického odpadu až po ochlazení vývalku kolejnic znamená změnu v technologii zpracování kolejnic, která vyžaduje značnou rekonstrukci uspořádání výrobních zařízení. Rekonstrukce zahrnuje:

- prodloužení délky chladicího lože tak, aby bylo možné chlazení celého vývalku včetně odpadu,
- mezi chladícím ložem a rovnací linkou vytvořit prostor pro novou kotoučovou pilu a pro zařízení zajišťující dopravu kolejnic mezi těmito výrobními operacemi,
- další úpravy a posun stávajících zařízení pro získání prostoru na realizaci výše uvedených úprav.

Vzhledem k technické, časové i finanční náročnosti úprav provozu v uvedeném rozsahu, nelze tuto metodu realizovat.

10.2 Dělení kolejnic rozbrušováním za horka

Rozbrušování je obvykle používáno pro dělení těžkoobrobitelných materiálů (viz kapitola 3). V současné době jsou ale na trhu s brusnými nástroji nabízeny i speciální rozbrušovací kotouče pro dělení materiálu za tepla.

Ve specifikacích rozbrušovacích kotoučů určených pro dělení ocelí o vysoké teplotě je výrobcí uváděno:

- nižší opotřebení nástroje, než při rozbrušování za běžných teplot,
- nižší hluchost procesu, než při klasických způsobech dělení řezáním za tepla,
- vyšší kvalita řezu než u běžných metod dělení za tepla.

Vzhledem k přibližně stejným požadavkům na rychlost otáčení a posuvu nástroje bylo možno tuto metodu odzkoušet na stávajícím zařízení. Volba rozbrušovacího nástroje a jeho praktické ověření při rozbrušování kolejnic za tepla je popsán v následujících kapitolách.

11 Návrh a výroba rozbrušovacího nástroje

11.1 Výběr vhodného rozbrušovacího nástroje

Pro výrobu rozbrušovacího kotouče byla ve výběrovém řízení vybrána firma Rappold s dlouholetou tradicí a zkušenostmi s výrobou brusných nástrojů. V návrhu vhodného rozbrušovacího kotouče byly použity doporučené hodnoty této firmy. Vzhledem k tomu, že se charakteristika některých parametrů brusných nástrojů liší u konkrétních výrobců, jsou některé specifikace podrobněji vysvětleny.

Výchozí podklady pro výběr rozbrušovacího nástroje

- Parametry kotoučové saňové pily:

otáčky vřetene 970 ot/min,

rychlost posuvu 0,087 m/s,

průměr kotouče 1800 mm,

upínání nástroje 1 x Ø 550 mm, 6 x Ø 30 mm.

- Dělený materiál:

jakost oceli uhlíková ocel,

teplota děleného materiálu 800°C,

plocha průřezu profilu kolejnice kolejnice UIC 60..... 7686 mm².

- Vypočtené hodnoty:

obvodová rychlost kotouče 91,42 m/s,

mezní obvodová rychlost..... 100 m/s,

specifický řezací výkon kolejnice UIC 60..... 38,88 cm²/s.

Výpočet obvodové rychlosti kotouče

Obvodová rychlost rozbrušovacího kotouče se vypočte z jeho průměru a otáček vřetene stroje:

$$v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad (11.1)$$

kde je: v_c obvodová rychlost kotouče [m/s],

D průměr kotouče [mm],

n počet otáček [1/min].

Výpočet:

$$v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{1800 \cdot 970 \cdot \pi}{60 \cdot 1000} = 91,42 \text{ m/s}$$

Obvodová rychlost rozbrušovacího kotouče o průměru 1800 mm při rychlosti otáčení 970 otáček za minutu je 91,42 m/s.

Stanovení mezní obvodové rychlosti

Mezní obvodová rychlost rozbrušovacího kotouče musí být větší než vypočtená obvodová rychlost kotouče:

$$v_{c \text{ mez}} > v_c \quad (11.2)$$

kde je: $v_{c \text{ mez}}$ mezní obvodová rychlost kotouče [m/s],

v_c obvodová rychlost kotouče [m/s].

Vyšší mezní obvodová rychlost rozbrušovacího kotouče, než vypočtená obvodová rychlost je dle tabulek výrobce 100 m/s.

Rozbrušovací kotouče Rapoflex jsou pro mezní obvodovou rychlost 100 m/s označeny zeleným pruhem na kotouči.

Výpočet specifického řezacího výkonu rozbrušování

Specifický řezací výkon rozbrušování se vypočte z podílu dělené plochy obrobku a řezacího času: [7]

$$z = \frac{A_W}{t} \quad [\text{cm}^2/\text{s}] \quad (11.3)$$

kde je: z specifický řezací výkon $[\text{cm}^2/\text{s}]$,
 A_W dělená plocha obrobku $[\text{cm}^2]$,
 t řezací čas $[\text{s}]$.

Plocha průřezu kolejnice je uvedena v profilových listech, které jsou v přílohách této diplomové práce. Řezací čas lze analogicky odvodit z posuvové rychlosti vřetene saňové pily a délky průřezu kolejnice:

$$v_f = \frac{l}{t} \Rightarrow t = \frac{l}{v_f} \quad (11.4)$$

kde je: v_f rychlost posuvu vřetene pily $[\text{m/s}]$,
 l dráha posuvu vřetene pily $[\text{m}]$,
 t čas $[\text{s}]$.

Při výpočtu řezacího času se za hodnotu dráhy posuvu vřetene pily dosadí délka řezaného profilu kolejnice. Pro profil kolejnice UIC 60 je 172 mm.

$$t = \frac{l}{v_f} = \frac{0,172}{0,087} = 1,977 \text{ s}$$

Specifický řezací výkon při dělení kolejnic UIC 60 je:

$$z = \frac{A_W}{t} = \frac{76,86 \text{ cm}^2}{1,977 \text{ s}} = 38,88 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Při výběru vhodného rozbrušovacího kotouče z pohledu předpokládaného specifického výkonu je také nutné přihlížet na členitý profil průřezu kolejnice. Vzhledem k poloze kolejnice při dělení bude největší specifický řezací výkon při řezání hlavy a nejmenší při řezání stojny kolejnice. Specifický řezací výkon při řezání hlavy kolejnice je $66,6 \text{ cm}^2/\text{s}$ a při řezání stojny je $14,8 \text{ cm}^2/\text{s}$.

Volba materiálu rozbrušovacího kotouče

Podle teploty materiálu se při rozbrušování rozlišuje mezi následujícími procesy: [7]

- rozbrušování za studena:

teplota obrobku 20°C až 100°C,

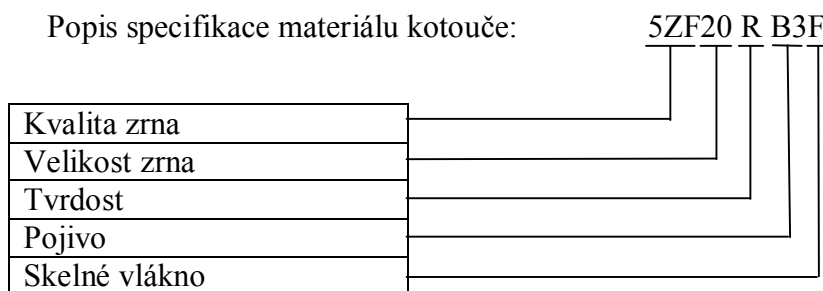
- rozbrušování za tepla:

teplota obrobku 100°C až 600°C,

- rozbrušování za horka

teplota obrobku 600°C až 1100°C.

Specifikace materiálu kotouče doporučená výrobcem pro uhlíkové oceli rozbrušované za horka je: 5ZF20 R B3F. Popis jednotlivých znaků je patrný z obrázku 11.1. [7]



Obr. 11.1 Popis specifikace materiálu kotouče

Charakteristika materiálu kotouče doporučeného výrobcem

Kvalita zrna - jedná se o speciální směsi korundového zrna a zirkonu blíže nespecifikované v běžných informačních materiálech firmy Rappold (ZF = podíl zirkonu 25%).

Velikost zrna - přiřazení číselného označení zrn k určitému rozměru a rozdělení je stanoveno dle mezinárodně platných standardů velikosti zrn (velikost zrna 20 = 0,84 až 1,19 mm).

Tvrdost brousícího kotouče - nevztahuje se na brousící zrno, nýbrž označuje odpor pojiva oproti vylomení brousícího zrna (dle charakteristiky tvrdosti firmy Rappold R = velmi tvrdý, viz tabulka 11.1).

Pojivo - stmeluje brusná zrna, aby měl brusný nástroj požadovaný tvar, rozměr a vhodnou mechanickou pevnost (B = umělá pryskyřice lisovaná za studena).

Skelné vlákno - pro průměr kotouče 1800 mm je obvykle použita 2 x přírubová tkanina a 4 x vnitřní tkanina, případně se používá zvláštní armování kovovou výztuhou.

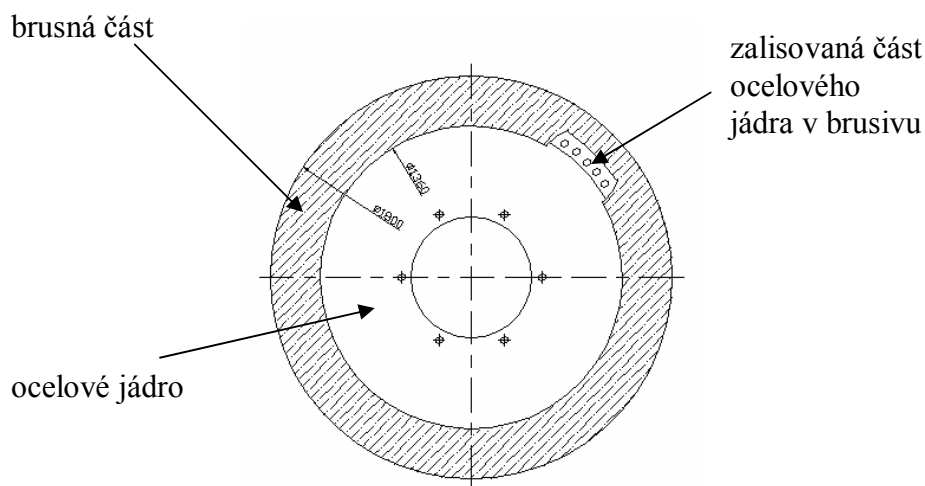
Tabulka 11. 1 Charakteristika tvrdosti brousícího kotouče dle firmy Rappold

Písmeno	Stupeň tvrdosti
A B C D	obzvláště měkké
E F	oelmi měkké
G H	měkké
J K L	střední
M N O P	tvrdé
Q R S T	velmi tvrdé
U V W X Y Z	obzvláště tvrdé

11.2 Návrh rozbrušovacího nástroje s ocelovým jádrem

Rozbrušovací kotouč vhodné specifikace materiálu a požadovaného průměru 1800 mm je vyráběn v tloušťce 18 mm s rovnou řeznou plochou. Tento typ rozbrušovacího kotouče je dodáván s upínacím otvorem o průměru 100 až 280 mm.

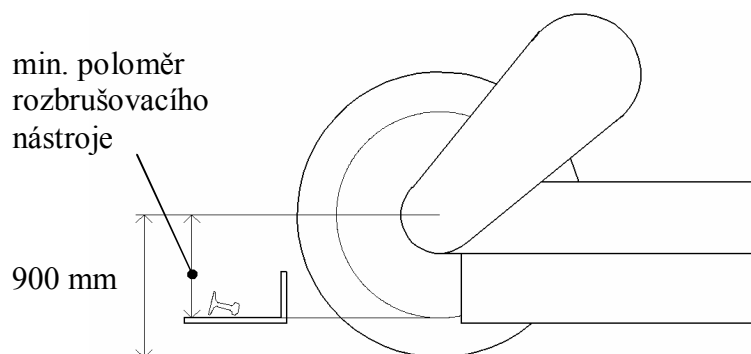
Použití rozbrušovacího nástroje na kotoučové saňové pile je možné řešit konstrukční úpravou stávajícího upínání na tomto zařízení. Pro odzkoušení rozbrušování je, ale výhodnější provést úpravu upínání na nástroji. V návrhu bylo použito ocelové jádro zalisované v brusném kotouči (viz obr. 11.2).



Obr. 11.2 Návrh rozbrušovacího kotouče s ocelovým jádrem

Navrhované řešení rozbrušovacího kotouče s ocelovým jádrem má i další výhody:

- pro výrobu ocelového jádra lze použít vyřazený pilový kotouč, čímž lze snížit náklady na materiál a výrobu otvorů pro upínání,
- po opotřebení rozbrušovacího nástroje lze ocelové jádro opakovaně použít při výrobě nového kotouče, čímž se opět sníží náklady (až o 1/3 z celkové ceny nástroje),
- ekologické a ekonomické nakládání s odpady opotřebovaných nástrojů. Vzhledem ke stávající poloze obrobku vůči nástroji je minimální potřebný průměr kotouče pro rozřezání kolejnice 1580 mm (viz obr. 11.3). Menší průměr opotřebovaného kotouče je tedy odpad z poměrně drahého nástroje.



Obr. 11.3 Minimální rozměr rozbrušovacího kotouče pro rozřezání kolejnice

11.3 Výroba ocelového jádra rozbrušovacího nástroje

Vhodný tvar ocelového jádra pro uchycení brusného materiálu je zobrazen na výkrese, který je přílohou č. 7 této práce.

Jelikož Strojní údržba válcoven nedisponuje vhodným výrobním zařízením pro výrobu jádra kotouče, je obvykle obdobná výroba svěřována Mechanickým dílnám v Třineckých železárnách, a. s. případně Vítkovickým strojárnám.

Vhodným výrobním zařízením je například karusel SK 25 CNC ve Vítkovických strojárnách. Má dostatečné rozměry a vhodné upínací přípravky pro opracování tenkého obrobku (možnost vibrací, brnění při obráběcím procesu).



Obr. 11.4 Karusel SK 25 CNC

Pro předběžné určení nákladů a výrobních časů byl sestaven výrobní postup (viz tabulka 11.2).

Výpočet spotřeby času ve výrobě byl proveden pomocí výpočetního softwaru VNORMS - součást programu ORACLE používaný ve Vítkovických strojnách.

Tabulka 11.2 Technologický výrobní postup

Technologický postup - výrobní			Strana: 1
Název součásti:			Ocelové jádro rozbrušovacího kotouče
Číslo výkresu:			-
Materiál:			12 060.1
Hrubá hmotnost			251 kg
Č. OPER.	PRACOVÍŠTE	N.HOD ČAS D ČAS J	POPIS PRÁCE
10	Z09865		Vstupní kontrola
20	Z44253	13,78 hod 65 min 762 min	Obrobitelnost: 13B Soustružit D 1570, T 6 D 1400 Po odvrtání otvoru soustružit D 1500
30	Z34827	6,32 hod 85 min 294 min	Obrobitelnost: 13B Frézovat vybrání 60x20/30x
40	Z09422	4,9 hod 20 min 274 min	Upravit, brousit R2/60x, konzervovat
50	Z09863		Výstupní kontrola

Cena hotového výrobku se stanoví jako součet cen za opracování na jednotlivých pracovištích a připočte se zisk obvykle ve výši 20% z celkové sumy. Cena práce jednotlivých pracovišť se stanoví jako součin ceny za hodinu práce na pracovišti a stanoveného času, který je potřeba pro výkon operace na pracovišti.

Ceny jedné normohodiny na jednotlivých pracovištích:

- Z44253 - karusel SK 25..... 1.600,00 Kč,
- Z34827 - horizontální vyvrtávačka W160..... 1.060,00 Kč,
- Z09422 - zámečnické práce..... 470,00 Kč.

Náklady na opracování ocelového jádra na jednotlivých pracovištích:

- Z44253 - karusel SK 25..... 22.048,00 Kč,
- Z34827 - horizontální vyvrtávačka W160..... 6.699,20 Kč,
- Z09422 - zámečnické práce..... 2.303,00 Kč.

Celkové náklady na výrobu ocelového jádra ve Vítkovických strojírnách:

- celková cena za opracování 31.050,20 Kč,
- celková cena včetně zisku 20%: 37.260,24 Kč.

Vzhledem k vysoké ceně při výrobě ve Vítkovických strojírnách byla výroba ocelového jádra provedena v rámci Třineckých železáren, a. s. Soustružení bylo provedeno na obdobném zařízení. Frézování a vrtání bylo ve výrobním postupu zaměněno za řezání laserem.

11.4 Výroba brusné části rozbrušovacího nástroje

Výroba brusné části byla provedena firmou Rappold, která si nepřeje zveřejňovat podrobnosti o technologii výroby.



Obr. 11.5 Rozbrušovací kotouč s ocelovým jádrem

Optimalizace řezných podmínek při rozbrušování

Zatím nelze přesně stanovit optimální řezné podmínky výpočtem, neboť řezný proces při broušení respektive rozbrušování ovlivňuje velmi mnoho proměnných parametrů.

Při stanovení optimálních řezných podmínek rozbrušování se vychází z doporučeného specifického řezacího výkonu.

Tabulka 11.3 Doporučený specifický rozbrušovací výkon

	Rozbrušování		
	za studena	za tepla	za horka
Teplota obrobku	20°C až 100°C	100°C až 600°C	600°C až 1100°C
Specifický rozbrušovací výkon	8 až 15 cm ² /s	7 až 20 cm ² /s	15 až 35 cm ² /s

Nastavené řezné podmínky lze také kontrolovat tvarem opotřebení kotouče.

Optimální profil opotřebeného kotouče je rovný až lehce konkávní (vydutý) nebo lehce konvexní (vypouklý) (obr. 11.6a, b, c). [7]

Silně konkávní (obr. 11.6d) profil:

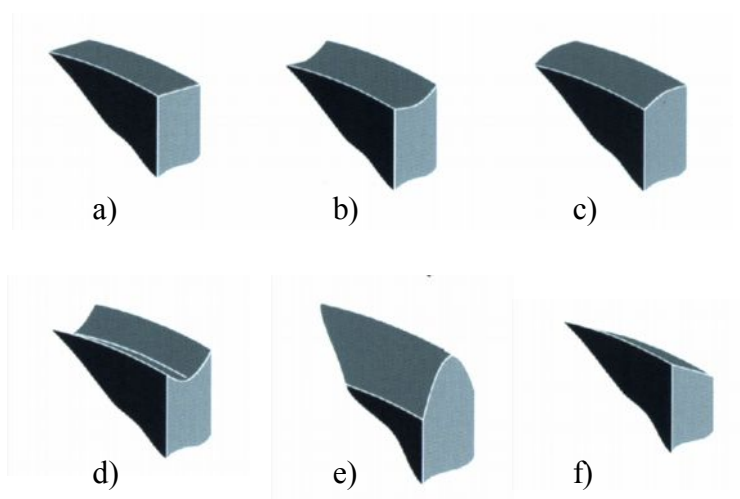
- kotouč působí příliš měkce,
- specifický řezací výkon příliš vysoký.

Silně konvexní (obr. 11.6e) profil:

- kotouč působí příliš tvrdě,
- specifický řezací výkon příliš malý.

Silně šikmý (obr. 11.6f) profil:

- jednostranné teplotní a mechanické zatížení kotouče,
- obrobek je možná špatně upnut. [7]



Obr. 11.6 Vyobrazení profilů kotoučů

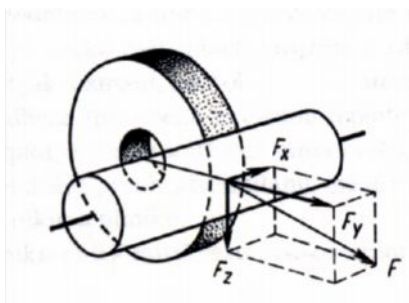
a) rovný, b) lehce konkávní, c) lehce konvexní,
d) silně konkávní, e) silně konvexní, f) silně šikmý

12 Návrh upínání kolejnič při rozbrušování

12.1 Silové působení na kolejniči při procesu

Na obráběnou součást při rozbrušování působí výsledná řezná síla, která je součtem elementárních sil od jednotlivých zrn. Při určení těchto sil lze vycházet z podstaty broušení.

Výsledná řezná síla F při broušení se skládá z normální nebo radiální síly F_y , tangenciální síly F_z a posuvné síly F_x podle obrázku 12.1. [9]



Obr. 12.1 Řezná síla a její složky při broušení [9]

Jednotlivé složky síly broušení se používají pro výpočet:

- výkonu na vřetení kotouče (tangenciální síla F_z),
- tuhosti soustavy stroj – obrobek – nástroj (radiální síla F_y),
- výkonu pro posuv při broušení (posuvná síla F_x), při rozbrušování v ose x nedochází k posuvu nástroje a proto posuvná síla F_x je nulová. [2]

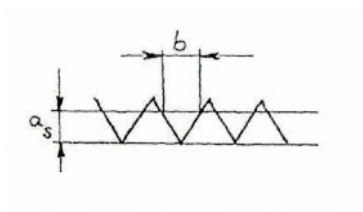
Výsledné síly při broušení je možné určit analytickým výpočtem. Řezná složka síly na jedno zrno dle obr. 12.2 se rovná: [2]

$$F_{iz} = r \cdot a_s \cdot \frac{b}{2} \quad (12.1)$$

kde je: F_{iz}řezná složka síly na jedno zrno [N],
 r měrný řezný odpor při broušení [Nmm⁻²],

a_sstřední hodnota tloušťky odebrané vrstvy [μm],

bšířka řezné části zrna [μm].



Obr. 12.2 Zjednodušená plocha průřezu řezu při broušení

Řezná složka síly na obvodu brusného kotouče F_z při záběru z zrn je dána vztahem: [2]

$$F_z = F_{iz} \cdot z = r \cdot a_s \cdot \frac{b}{2} \cdot z \quad (12.2)$$

kde je: F_z řezná složka síly na obvodě brusného kotouče [N],

F_{iz}řezná složka síly na jedno zrno [N],

z počet zrn v záběru [-],

r měrný řezný odpor při broušení [Nmm^{-2}],

a_sstřední hodnota tloušťky odebrané vrstvy [μm],

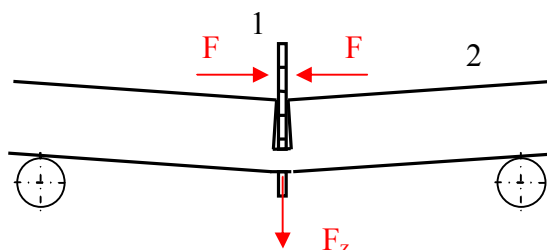
bšířka řezné části zrna [μm].

12.2 Konstrukční požadavky na upínání kolejnic

Z hlediska tuhosti soustavy stroj–obrobek–nástroj narušuje zvolené ustavení obrobku válečkový dopravník, na kterém kolejnice při řezu leží:

- ve směru tangenciální síly F_z není v místě řezu žádná opěra. Při řezu vlivem této síly může docházet k prohnutí kolejnice a vlivem následných momentů ke svírání nástroje v řezu (viz obr. 12.3),
- ve směru radiální síly F_y je kolejnice zajištěna proti pohybu pouze třecí silou vyvozenou vlastní hmotností. Lze předpokládat, že radiální síla bude větší a opět může docházet k posunu kolejnice,

- ve směru posuvné síly F_x při rozbrušování sice nepůsobí síla od posuvu nástroje, ale k pohybu kolejnice může dojít vlivem vibrací při procesu nebo z nepřesností vodorovné polohy válečkového dopravníku. Proti tomuto pohybu kolejnice při řezu působí pouze valivá třecí síla dopravníku.



- 1) rozbrušovací kotouč,
- 2) řezaná kolejnice.

Obr. 12.3 Svírání nástroje v řezu vlivem tangenciální síly F_z

Pro správnou tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek je potřebné uspořádat upínání tak, aby se nenarušilo ustavení kolejnice a zabránilo se jejímu uvolnění při působení technologických sil.

V konstrukčním návrhu upínání kolejnic je také nutné brát v úvahu:

- kolejnice na válečkovém dopravníku není dostatečně středěna a její poloha při řezu se pohybuje v celé šířce válečkového dopravníku,
- uspořádání upínacích prvků musí umožňovat po uvolnění kolejnice, její odsun na chladicí lože,
- malý prostor pro upínací prvky, jelikož se při řezu nad kolejnicí vysouvá s nástrojem i převodová skříň saňové pily,
- malá elasticita materiálu o vysoké teplotě snižuje napružení ve styčných plochách obrobku a opěrných prvků. Kontaktní tuhost (nebo její převrácená hodnota „poddajnost“) může významně ovlivnit dynamické vlastnosti technologické soustavy (např. přenosovou charakteristiku chvění),
- velká plasticita materiálu kolejnic o vysoké teplotě může za působení velkých upínacích tlaků způsobit trvalou deformaci kolejnic.

12.3 Všeobecné řešení systému upínání

Při upínání součástky v přípravku v zásadě existují tři principy vztahu technologické síly F k upínací síle Q a reakcí v opěrkách F_R (obr. 12.4 až obr. 12.6): [10]

- 1) technologická síla (složka technologické síly) F působí ve směru proti pevným opěrám (obr. 12.4a),
- 2) technologická síla (její složka) F působí ve směru od pevných opěrek (obr. 12.5 a). Silovou protiváhu vytváří upínací síla Q působící proti technologické síle. Vzhledem k bezpečnosti upnutí převyšuje síla Q technologickou sílu o násobek součinitele bezpečnosti K :

$$Q = K \cdot F \quad (12.3)$$

kde je: Q upínací síla [N],

K koeficient bezpečnosti ($K > 1$) [-],

F technologická síla [N]. [10]

- 3) technologická síla (složka technologické síly) F působí ve směru od pevných opěrek (obr. 12.6a). Upínací síla Q působí kolmo na technologickou sílu F , přitlačuje součástku na opěrky v rovině rovnoběžné s technologickou silou F , čímž vznikají třecí síly jako protiváha technologické síly:

$$K \cdot F = Q \cdot f_1 + Q' \cdot f_2 = Q \cdot (f_1 + f_2) \quad (12.4)$$

Když platí, že $Q = Q'$, potom:

$$Q = \frac{K \cdot F}{f_1 + f_2} \quad (12.5)$$

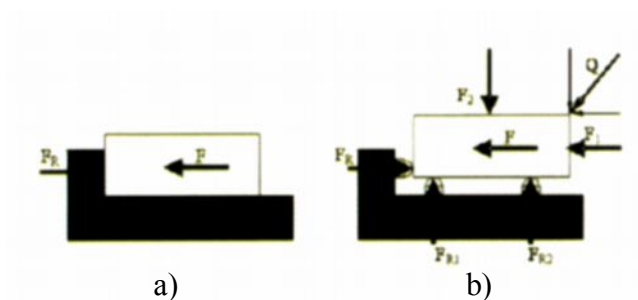
kde je: Q upínací síla [N],

K koeficient bezpečnosti ($K > 1$) [-],

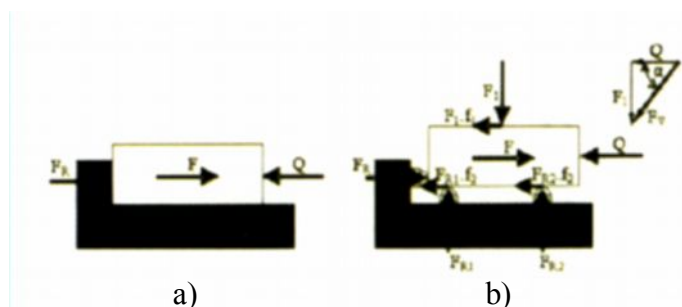
F technologická síla [N],

f_1, f_2 součinitel smykového tření [-]. [10]

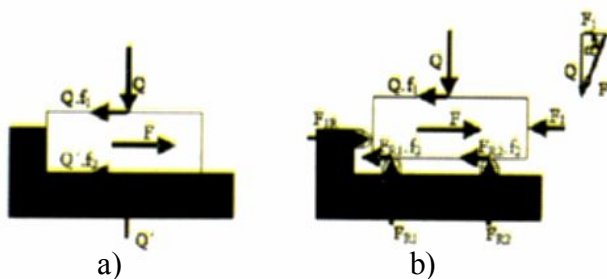
Ve skutečnosti technologické síly mají dynamický charakter, takže v celém průběhu operace může vzniknout nestabilita procesu. Z tohoto důvodu se volí pomocná upínací síla F_1 , přitlačující součástku na opěrky (obr. 12.4b, 12.5b, 12.6b). Její velikost se neváže na velikost technologické síly, ale na vytvoření vhodné stykové deformace mezi součástkou a opěrkami. [10]



Obr. 12.4 Schéma působení technologické síly [10]



Obr. 12.5 Schéma působení technologické síly [10]



Obr. 12.6 Schéma působení technologické síly [10]

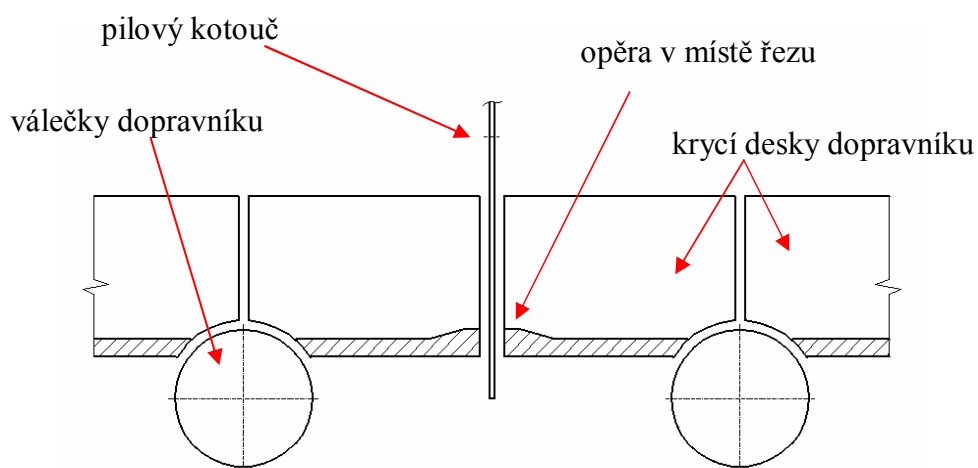
Porovnáním uvedených třech principů uspořádání, je možné prokázat velké rozdíly v hodnotě potřebné upínací síly při upínání. Např. pro veličiny $K = 2, f_1 = f_2 = 0,10$ jsou požadovány upínací síly: [10]

- 1) $Q = 0$,
- 2) $Q = 2F$,
- 3) $Q = 10F$.

12.4 Opěrné prvky upínání kolejnic

Polohu kolejnic při jejich dělení na válečkovém dopravníku je nutné zajistit především dostatečnými opěrami proti působení řezné síly dle bodu 1 kapitoly 12.3.

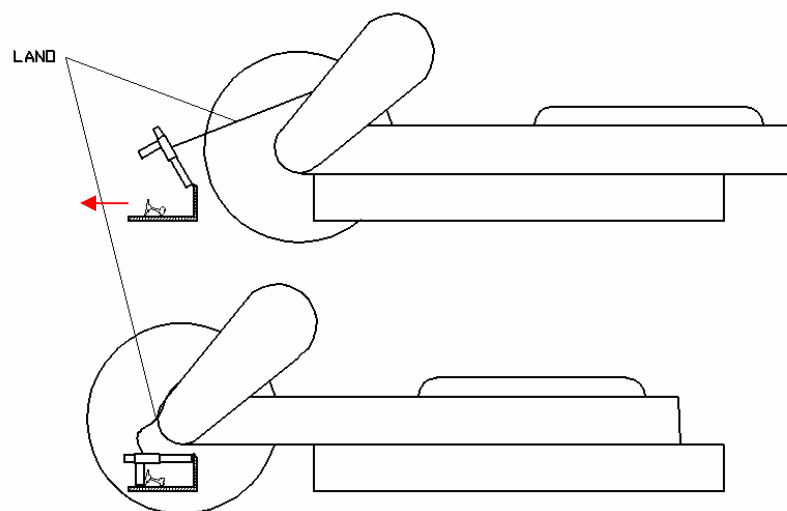
Opěra ve směru působení složky tangenciální síly F_z je řešena navýšením vrstvy ocelové krycí desky dopravníku v místě řezu (viz obr. 12.7).



Obr. 12.7 Podpěra proti radiální síle F_y

Ve směru složky síly F_y dochází po procesu dělení k odsunu kolejnic na chladicí lože. Jednoduché zařízení, které pro nadzvednutí opěry využívá

pohybu saní kotoučové pily je znázorněn na obrázku 12.8. Opěru tvoří pákový mechanismus připevněný k saním pomocí ocelového lana.



Obr. 12.8 Zvedání podpěry pro odsun kolejnic

Provizorní páková opěra je při řezání přidržována pouze vlastní hmotností. Vlivem působení složky radiální síly F_y může dojít ke klopným momentům a nadzvednutí páky s opěrou .

Páka s opěrou je přitlačována k podložce tíhovou silou F_G která působí v těžišti tělesa T:

$$F_{Gpaky} = m \cdot g \quad (12.6)$$

a v kloubu páky vyvolá moment M_k :

$$M_1 = F_{Gpaky} \cdot r_1 \cdot \quad (12.7)$$

kde je: F_{Gpaky} tíhová síla působící v těžišti páky s opěrou [N],

m hmotnost tělesa [kg],

g tíhové zrychlení [9,81 m/s],

M moment síly [Nm],

r_1 rameno síly F_G [m].

Opačný moment M_2 vzniká působením síly F na rameni r_2 :

$$F = F_y - F_t \quad (12.8)$$

$$F_t = F_{Gkol} \cdot f \quad (12.9)$$

$$-M_2 = F \cdot r_2 \quad (12.10)$$

kde je: F síla [N],

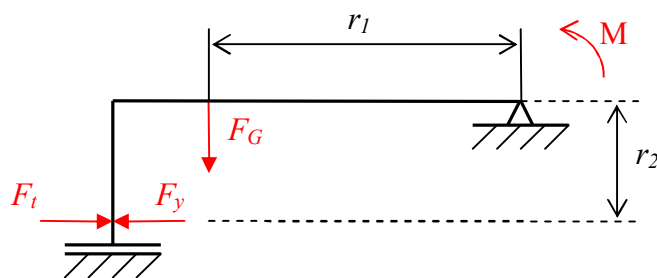
F_y radiální složka technologické síly [N],

F_ttřecí síla [N],

F_{Gkol} tíhová síla působící na kolejnici [N],

fsoučinitel smykového tření (ocel - ocel je 0,05) [-],

r_2rameno síly F [m].



Obr. 12.9 Působení sil a momentů na pákovou opěru

Aby v průběhu procesu dělení nedošlo k nadzvednutí opěry, musí být moment M_2 menší než M_1 :

$$M_2 < M_1 \Rightarrow F \cdot r_2 < F_{Gpaky} \cdot r_1 \Rightarrow (F_y - F_t) \cdot r_2 < F_{Gpaky} \cdot r_1 \quad (12.11)$$

Složka F_y technologické síly tedy musí být menší než:

$$F_y < \frac{F_{Gpaky} \cdot r_1}{r_2} + F_t \quad (12.12)$$

$$F_y < \frac{381,83 \cdot 0,375}{0,18} + 148 = 795,5 + 148 = 943,5 \text{ N}$$

Těžiště a hmotnost páky s opěrou byly určeny z jednotlivých použitých dílů pomocí programu AutoCAD. Třecí síla F_t byla určena pro kolejnici UIC 60 o délce 5 m (předpokládaná délka kolejnice jejíž hmotnost se podílí na třecí síle).

12.5 Upínací síla

Upínání má přitlačit součástku na opěrné prvky a napružením vytvořit ve styčných plochách vhodnou kontaktní deformaci. Kontaktní tuhost (nebo její převrácená hodnota „poddajnost“) může významně ovlivnit dynamické vlastnosti technologické soustavy (např. přenosovou charakteristiku chvění). [10]

Statická tuhost v tahu nebo tlaku upínacích prvků je definována vztahem:

$$c_T = \frac{F}{y} \quad (12.13)$$

Statická tuhost v krutě je definována vztahem:

$$c_M = \frac{M_k}{\varphi} \quad (12.14)$$

kde je: c_Tstatická tuhost vtahu – tlaku [N/mm],
 F působící síla [N],
 y deformace způsobená silou F [mm],
 c_Mstatická tuhost v krutě [Nm/rad],
 M_k kroutící moment [Nm],
 φ úhel natočení působením momentu M_k [rad]. [10]

Převrácená hodnota tuhosti se označuje jako poddajnost p . Výsledná poddajnost soustavy je pak:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n \quad (12.15)$$

a výsledná tuhost soustavy je:

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \dots + \frac{1}{c_n} \quad (12.16)$$

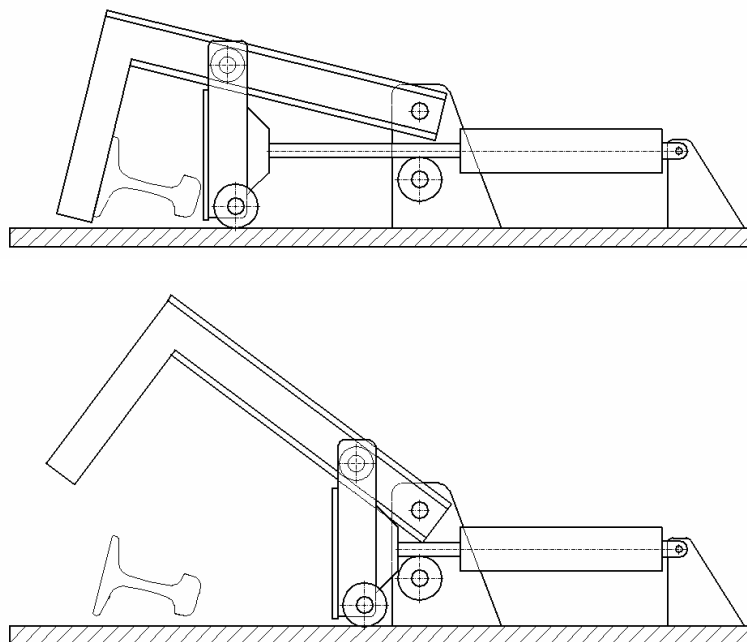
Vysoká teplota kolejnic ale způsobí malou elasticitu kolejnic.

Upínání s konstantní silou, nezávislou na deformaci a otláčení stykových míst, zaručují upínací mechanismy pneumatické, hydraulické, pneuhydraulické apod. Pro pohon pneumatického mechanismu lze využít rozvod stlačeného vzduchu na provozu.

Mechanismus upínání je možné umístit pouze do relativně malého prostoru mezi válečkový dopravník a saňovou pilu (z druhé strany dopravníku dochází k odsunu kolejnic, nad dopravníkem jsou při procesu vysunuty sáně pily a pod dopravníkem dochází k odplavování třísek a okují proudem vody).

Jednoduché zařízení pro upínání kolejnic, které nevyžaduje zvláštní úpravy válečkového dopravníku je zobrazeno na obr. 12.10. Pohybu pístu se také využívá pro zvedání opěry při odsunu kolejnic.

Přítlačná síla působí také kolmo na směr pohybu kolejnice po válečkovém dopravníku, čímž vznikají třecí síly jako protiváha pohybu kolejnice ve směru válečkového dopravníku vlivem jeho nerovností vibrací apod.



Obr. 12.10 Upínání kolejnic s pomocnou upínací silou

Předběžná velikost upínací síly byla odvozena z upínacího zařízení sochorů při ražení identifikačního kódu, kde:

- upínací síla působí kolmo na směr pohybu sochorů, tedy stejně jako upínací síla kolejnic,
- vyvolaná třecí síla pak působí proti razící síle při čelním ražení kódu, tedy ve směru pohybu sochoru po dopravníku,
- plocha upínacích čelisti je malá (50 x 50 mm), plocha styku s materiálem je ještě menší, jelikož čelisti mají zaoblený tvar, přitom otlaky na sochoru netvoří.

Síla působící na upínací čelist při upínání sochorů je 10 MN.

Předpokládám, že velikost razící síly při ražení sochoru bude větší než síly způsobené vibracemi nebo nerovnosti válečkového dopravníku ve stejném směru při upínání kolejnic.

Velikost upínací síly při dělení kolejnic by tedy měla být dostatečná. Při tom by nemělo docházet k trvalé deformaci kolejnic (tvorbě otlaků), stejně jako nedochází k deformaci při upínání sochorů.

Průměr vzduchového válce pro upínání kolejnic, který lze umístit mezi podlahu a vysunutě sáně pily je 250 mm.

Síla pístu se vypočte z rovnice tlaku:

$$p = F \cdot S \Rightarrow F = \frac{p}{S} \quad (12.17)$$

$$S = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \quad (12.18)$$

kde je: p tlak [Pa] (rozvod stlačeného vzduchu v TŽ = 0,6 Mpa),

F síla [N],

S plocha pístu [m²],

d průměr pístu [N]. [8]

Výpočet plochy pístu:

$$S = \pi \cdot \frac{0,25^2}{4} = 0,049 \text{ m}^2$$

Výpočet síly vzduchového válce:

$$F = \frac{600000}{0,049} = 12,2 \text{ MN}$$

Síla vyvozená pneumatickým válcem je vyšší než v případě upínání sochorů. K tvorbě otlaků na kolejnici by ale nemělo docházet, jelikož plocha upínacích čelistí je také větší, případně lze použít regulaci tlaku.

Toto jednoduché upínání není nutné vyrábět hned pro první zkoušení rozbrušování. Pro zkoušení stačí použít prvně opěry uvedené v předchozí kapitole 12.4. Podle výsledku zkoušek pak návrh upínání s silou poupravit.

V úvahu přichází také možnost použití pro řezání s pilovým kotoučem, kde lze zvýšením tuhosti technologické soustavy zvýšit kvalitu řezu a snížit hlučnost.

12.6 Další potřebné prvky upínání – rozevírání řezu

Ve výkresové dokumentaci saňové pily Škoda je uvedena vůle pojezdu saní 1,5 mm. Vzhledem ke stáří stroje může být tato vůle mnohem větší z důvodu opotřebení mechanických součástí.

Tato nepřesnost se projeví v nežádoucím stranovém pohybu nástroje, čímž ovlivňuje kvalitu řezu (kolmost, rovinnost řezu), ale také boční opotřebení nástroje stejně jako nezajištěný pohyb kolejnice po válečkovém dopravníku řešený v předchozí kapitole.

Bočnímu opotřebení nástroje lze zabránit alespoň při zpětném posuvu nástroje do výchozí polohy rozevřením oddělených částí kolejnic.

Rozevření lze například realizovat posunem krycí desky válečkového dopravníku, na které jsou připevněny upínací prvky pomocí pneumatického válce.

Velikost potřebné síly se stanoví z valivého tření kolejnice po válečkách dopravníku a smykového tření krycí desky v uložení. [8]

Síla valivého tření (při valivém pohybu):

$$F_t = \xi \cdot \frac{F_n}{R} \quad (12.19)$$

Síla smykového tření (při posuvném pohybu):

$$F_t = f \cdot F_n \quad (12.20)$$

kde je: F_ttřecí síla [N],

ξrameno válivého odporu [m],

Rpoloměr valícího se tělesa [m],

F_nnormálová síla kolmá na třecí sílu [N]. [8]

Pouze pro odzkoušení rozbrušování není nutné provádět úpravy pro rozevírání řezu. V praxi při dělení kolejnic by tento návrh opět mohl zvýšit trvanlivost nejen rozbrušovacích, ale i pilových kotoučů.

12.7 Řešení upínání příčným vlečným odsunu kolejnic

Doposud uvedené návrhy upínání kolejnic jsou jednoduché konstrukce, tak, aby umožnily odzkoušení rozbrušování na stávajícím zařízení a zároveň nebyla nutná jeho rozsáhlejší úprava.

Pro upínání lze také využít příčného vlečného odsunu kolejnic na chladicí lože, kde je kolejnice v podstatě již upnuta. Kolejnice je při odsunu zatlačena na opěry vlečníku a poté nadzvednuta. Má tedy větší stabilitu než na válečkovém dopravníku.

Posuvný pohyb by pak nekonal nástroj ale obrobek. Toto řešení tedy spočívá v návrhu jednoduššího stroje, který vykonává pouze otáčivý pohyb nástroje.

Případnou upínací sílu stačí řešit pouze u vlečnicku v místě řezu. Vzhledem k tomu, že kolejnice je již zatlačena na opěrné prvky vlečnicku, může být pohyb upínacích čelistí kratší a tím i menší a jednodušší zařízení pro vyvození síly.

Výhody tohoto způsobu dělení:

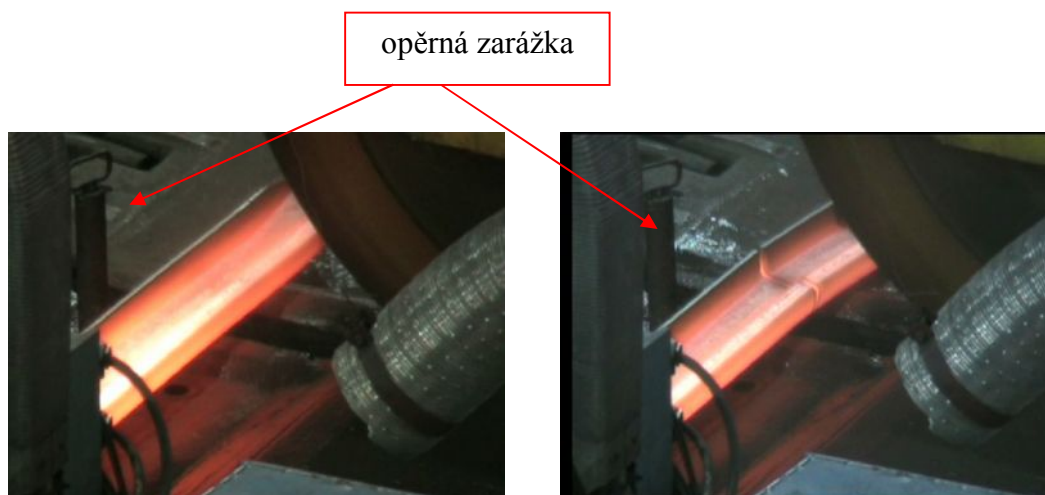
- vyšší produktivita (spojení dělení a odsunu kolejnic v jednu výrobní operaci),
- jednodušší stroj pro řezání (větší stabilita, menší vůle v mechanismech stroje, jednodušší údržba),
- nižší náklady (na pořízení stroje, na jeho údržbu, na energii - pohon pouze otáčení nástroje).



Obr. 12.11 Příčný vlečník odsunu kolejnic

13 Praktické ověření dělení kolejnic rozbrušováním

První zkoušení rozbrušovacího kotouče probíhalo na novější saňové pile Demark. Před každým řezem byla ručně vkládána opěra proti působení posuvové síly respektive radiální složky F_y technologické síly (viz obr. 13.1).



Obr. 13.1 Testování rozbrušovacího kotouče

Nástroj i zařízení se chovali klidně, bez zvláštních vibrací a to vše za výrazně nižších zvukových projevů při řezu oproti klasickému řezání za tepla. Profil opotřebovaného kotouče byl stále optimální i po několika řezech.

V dalším zkoušení se pokračovalo za běžného provozu na pile Škoda. V tomto postupu šlo hlavně o zatěžkávací zkoušku nového typu rozbrušovacího kotouče s ocelovým jádrem. Vzhledem k možnosti roztržení kotouče za provozu bylo nutné dbát zvýšených bezpečnostních opatření především zabránit pohybu zaměstnanců v okolí tohoto zařízení.

Pro upínání kolejnic byly použity pouze opěrné zarážky podle návrhu v kapitole 12.4 (viz obr. 13.2). Menší stabilita nedostatečně upnuté kolejnice jednak zvyšovala zatížení kotouče při této zatěžkávací zkoušce a podle opotřebení kotouče lze také posoudit, případně poupravit, návrh upínání.

Rozbrušovací kotouč se i na tomto starším zařízení choval klidně, bez zvláštních vibrací a nežádoucích projevů.



Obr. 13.2 Sklopná opěra

Průběžně se sledoval stav a opotřebení nástroje. Zhruba po jedné směně provozu bylo patrné mírně zvětšené boční opotřebení kotouče. Tvar opotřebení čelního profilu kotouče byl stále optimální.

Po necelých třech směnách provozu muselo být zkoušení přerušeno z důvodu poškození rozbrušovacího kotouče (viz obr. 13.3).



Obr. 13.3 Poškozený rozbrušovací kotouč

Před dokončením této diplomové práce se nestihlo vyrobit navrhované upínání kolejnic dle kapitoly 12.5, které by zvýšilo stabilitu kolejnic na válečkovém dopravníku pro požadovanou tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek. Další zkoušení rozbrušování tedy zatím neproběhlo.

14 Technicko-ekonomické zhodnocení

14.1 Hodnocení proběhlých zkoušek rozbrušování

Použité řezné podmínky

Opotřebení čela rozbrušovacího nástroje bylo lehce konkávní, přibližně dle obrázku 11.6c. Vzhledem k optimálnímu tvaru profilu opotřebení byly použité řezné podmínky optimální.

Materiál a trvanlivost nástroje

Průměr opotřeбенého kotouče byl 1700 mm a počet provedených řezů přibližně 350. Trvanlivost rozbrušovacího kotouče s ocelovým jádrem lze předpokládat přibližně stejnou jako při pilovém kotouči mezi přeastřením.

Z uvedených obrázků je také patrné, že při řezném procesu nedocházelo k zanášení pórů brusné části kotouče. Použitá struktura materiálu rozbrušovacího nástroje byla tedy vhodně zvolena.

Poškození nástroje v průběhu zkoušek

Poškození rozbrušovacího kotouče bylo způsobeno bočním zatížením kotouče při procesu.

Stranové zatížení je patrné i z nerovnoměrného opotřebení kotouče, které je zobrazeno na obrázku 14.1. Ze strany, kde při procesu leží krátký odpad kolejnice je boční opotřebení kotouče minimální (do 1,5 mm) a na straně bloku kolejnice je cca 6 mm.

Jednostranné zatížení mohlo být způsobeno postupně se svažujícím válečkovým dopravníkem k místě řezu, kdy vlivem vibrací a tíhové síly dochází k pohybu kolejnice dle předpokladu uvedeném v kapitole 12.5. V této kapitole je také uveden návrh upínacího zařízení, kterým lze tuto problematiku řešit.



Obr. 14.1 Boční opotřebení kotouče

14.2 Hodnocení hlučnosti procesu a kvality řezu při rozbrušování

Hlučnost při rozbrušování

Naměřená hodnota hlučnosti v průběhu zkoušení byla $L_{A,eq} = 87,6$ dB, $L_{Amax} = 98,2$ dB. Rozbrušováním bylo tedy dosaženo snížení hluku těsně nad požadovanou hodnotu hlučnosti stanoveného hygienického limitu. Na vyšší naměřené úrovni hlučnosti při praktickém ověřování rozbrušování se také podílí další zařízení v interiéru provozu válcovny.

Kvalita řezu při rozbrušování

Velikost otřepu byla přibližně stejná jako při řezání na středně otupeném pilovém kotouči. V průběhu zkoušení nebyla zaznamenána tvorba otlaků při rovnání.

Rovinnost a kolmost řezu byla rovněž zhruba stejná, jelikož nebylo použito navrhované upínání kolejnic. Snížila se hloubka rýh, ale zvýšila se jejich četnost. Na zvýšení funkčnosti laserového měření délek se to sice projevilo, ale funkčnost stále nebyla stoprocentní.

14.3 Ekonomické zhodnocení řezání a rozbrušování

Je zřejmé, že požadavky na vyšší kvalitu výrobních operací jsou doprovázeny vyššími náklady. Dále je uvedeno srovnání cen nástrojů pro řezání a rozbrušování za půl roku používání, což je přibližně doba životnosti pilového kotouče.

Náklady na pořízení a provoz pilového kotouče jsou:

- cena nového pilového kotouče..... 16.000,00 Kč,
- cena jednoho přebroušení 7.520,00 Kč,
 - cena za normohodinu práce přebroušení 470,00 Kč,
 - čas na broušení a nauhličení řezných zubu 16 hod,
 - průměrný počet přebroušení pilových kotoučů..... 50 x,
- cena za 50 přebroušení 376.000,00 Kč,
- celkové náklady za půl roku před vyřazením nástroje 392.000,00 Kč.

Náklady na pořízení a provoz rozbrušovacího nástroje za stejnou dobu jsou:

- cena rozbrušovacího kotouče..... 36.000,00 Kč,
- cena renovovaného kotouče..... 20.000,00 Kč,
- cena za 50 renovovaných kotoučů 1.000.000,00 Kč,
- celkové náklady za stejné období 1.036.000,00 Kč.

Ekonomickým přínosem rozbrušování by mohlo být snížení příplatků pracovníků za práci ve ztíženém a zdraví škodlivém prostředí, které dle nařízení vlády 464/2003 Sb. je nejméně 6 Kč za hodinu práce v tomto prostředí.

V případě snížení hluchnosti může být počítáno s 8 zaměstnanci na směně, kterých by se snížení příplatků týkalo. Při 3 směnném provozu by mohly být náklady sníženy cca o 181.500 Kč.

Další snížení nákladů na rozbrušování mohou přinést množstevní slevy na výrobu a dopravu nástrojů, které by dle výrobce mohly dosáhnout až 20% z celkové ceny.

I při odečtení množstevních slev a příplatků za hlučnost vyjde rozbrušování za půl roku používání o 255.000,- Kč draž než při řezání pilovým kotoučem.

14.4 Zhodnocení dílčích návrhu konkrétních řešení

Po technicko-ekonomické stránce vychází dílčí návrhy nejlépe. Přitom jednoduché zařízení pro odstranění otřepu dosáhlo stejného zamezení tvorby otlaků při rovnání kolejnic jako menší otřep při rozbrušování. Umístění laserové jednotky ve válečkovém dopravníku blíže k měřené kolejnici dosáhlo dokonce lepšího efektu, ve zcela funkčním měření délek kolejnic.

Dílčím řešením při stávajícím řezání pilovým kotoučem ale nelze dosáhnout požadované hodnoty stanoveného hygienického limitu hlučnosti.

15 Závěr

V současné době je stále větší důraz kladen na jakost výrobků. Zatímco dříve byla pro odběratele rozhodující převážně prodejní cena, dnes stále častěji rozhoduje úroveň kvality výrobků.

Kvalitativní požadavky na novou metodu dělení kolejnic za tepla sice nejsou přímo potřebou zákazníka, ale úzce s ní souvisí. Týkají se tvorby nežádoucích otlaků při rovnání kolejnic a přesného laserového měření jejich délek.

V této diplomové práci je navrhována technologie dělení kolejnic za tepla rozbrušovacím nástrojem s ocelovým jádrem, kterou lze použít na stávajícím zařízení. Přínosem může být i samotné ocelové jádro, jež řeší jednak upínání nástroje a zároveň nakládání s odpady opotřebovaných rozbrušovacích kotoučů.

Rozbrušováním je řešen také další požadavek na snížení hlučnosti procesu dělení. Snížení hluku bylo dosaženo těsně nad požadovanou hodnotu stanoveného hygienického limitu. Na vyšší úrovni hlučnosti v interiéru provozu válcovny se ale dále podílejí další zařízení.

Při praktickém ověření rozbrušování byla prokázána možnost použití této metody pro dělení kolejnic za tepla a také správná volba brusného materiálu a optimálních řezných podmínek. Na rozdíl od stávajícího řezání menší otřep již nebyl příčinou tvorby otlaků při následném zpracování kolejnic. Také menší rýhy na ploše řezu se projeví mnohem vyšší funkčností laserového měření délek. Lepší vlastnosti odrazové plochy laserového paprsku, ale stále nestačily na zcela bezproblémové měření délek.

Z hlediska technicko-ekonomického hodnocení vychází nejlépe dílčí řešení konkrétních požadavků. Kam patří jednak návrh jednoduchého zařízení pro odstraňování otřepu. A také umístění laserové měřicí jednotky blíže k měřenému objektu, které již zajistilo 100% funkčnost měření délek kolejnic.

K technickým opatřením lze zahrnout i návrh upínání kolejnic. Zvýšením tuhosti stroj-nástroj-obrobek lze zajistit vyšší kvalitu řezu a zabránit vzniku a šíření hluku.

Charakteristickým rysem současné strojírenské výroby je neustálý růst produkce a snaha o urychlování výrobního procesu. Je to dáno především širokým spektrem požadavků odběratelů. S tím souvisí zvyšující se nároky na přesnost strojů.

Z tohoto hlediska je nejvýhodnějším řešením využít pro upínání a posuv obrobku příčného vlečnicku odsunu kolejnic na chladící lože. Spojením dvou výrobních operací dojde ke zvýšení produktivity. K této technologii dělení stačí jednodušší obráběcí stroj s vyšší přesností a nižšími náklady.

Literatura

- [1] BILÍK, Oldřich. *Obrábění I. 2. díl*. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0
- [2] BILÍK, Oldřich. *Obrábění II. 1. díl, Fyzikálně mechanické zákonitosti procesu obrábění*. 2. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Strojní fakulta, 1999. 131 s. ISBN 80-7078-962-X
- [3] BRYCHTA, Josef a kol. *Nové směry v progresivním obrábění : učební text*. Vyd. 1. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě. Ediční středisko, 2007. 251 s. ISBN 978-80-248-1505-3. [Cit. 2009-04-15]. Dostupné z internetu : <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/>
- [4] ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka*. 2. 13. upravené vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1977. 1296-2368 s.
- [5] EUR-LEX [online]. 2009-05-08, [Cit. 2009-05-10]. Směrnice Evropského parlamentu a rady 2003/10/ES. Dostupné z internetu : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:05:04:32003L0010:CS:PDF>
- [6] HAUEROVÁ, Stanislava; WAWRZACZ, Jiří. *160 let železáren v Třinci : 1839-1999*. Vyd. 1. Třinec : Třinecké železářny, 1999. 150 s.
- [7] INFORMAČNÍ a propagační materiály firmy Rappold
- [8] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky : pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 1. vyd. Úvaly : Albra, 2003. xv, 865 s. ISBN 80-86490-74-2
- [9] MASLOV, Jurij Nikolajevič. *Teorie broušení kovů*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1979. 246 s.
- [10] MONKA, Peter; PAULIKOVÁ, Alena. *Top trendy v obrábění. Časť 4, Upínanie, prípravky a meradlá*. Žilina : Media/St, 2007. 168 s. ISBN 80-968954-2-7
- [11] NĚMEC, Jaroslav; DVOŘÁK, Jan; HÖSCHL, Cyril. *Pružnost a pevnost ve strojírenství*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1989. 599 s. ISBN 80-03-00193-5

- [12] NOVOTNÝ, Jindřich. Kotoučové pily na kov. *MM průmyslové spektrum*, 2002, č. 4, s 76
- [13] PETRUŽELKA, Jiří; BŘEZINA, Richard. *Úvod do tváření I*. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001. 157 s. ISBN 80-7078-877-1
- [14] SAGIT [online]. Ostrava : Sagit, c1996-2009, [Cit. 2009-04-03]. Zákon ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Dostupný z internetu : <http://www.sagit.cz/pages/sbirkatxt.asp?sn=y&hledany=o+ochran%EC+ve%F8ejn%ED+ho+zdrav%ED+a+o+zm%EC+n%EC+ter%FDch+souvis ej%ED+c%ED+ch+z%ED+lkon%F9&zdroj=sb00258&cd=3&typ=r>
- [15] SKALÍK, Pavel. *Základy projektování II : projektování výrobních systémů*. 104 s. [studijní materiál]
- [16] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie. Část 2, Základy řízení jakosti*. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6
- [17] TŘINECKÉ železářny. *Inovace na provozech VH 2004 – 2006* [Prezentace]. Třinec : Třinecké železářny. [200-]. 1 elektronický optický disk (CD-ROM).
- [18] TŘINECKÉ železářny, Třinec. PPO TŽ-VH-10/01 *Pracovní postup: Měření a kontrola kolejnic na provozu VH*. 2007. 16 s.
- [19] TŘINECKÉ železářny, Třinec. PPO TŽ-VH-15/09 *Pracovní postup : Kontrola, úprava, značení, manipulace, skladování a předávání kolejnic v úpravě kolejnic*. 2008. 8 s.
- [20] TŘINECKÉ železářny, Třinec. PPO TŽ-VH-15/13 *Pracovní postup : Rovnání kolejnic a profilů I a U a činnosti spojené s provozováním kotoučové rovnačky MANNESMANN - DEMAG – SACK*. 2006. 15 s.
- [21] TŘINECKÉ železářny, Třinec. PPO TŽ-VO-10/01 *Pracovní postup: Příprava výroby provozu Výroby železa a oceli*. 2008. 13 s.
- [22] TŘINECKÉ železářny, Třinec. [PN TŽ 42 0190] *Technické podmínky : Širokopatní kolejnice Výroba, zkoušení a dodávání širokopatních (Vignolových) kolejnic tvaru S49, R65 a UIC 601996*. 18 s.

- [23] TZB-INFO [online]. Praha : topinfo, c2001-2009, [Cit. 2009-05-02].
Nařízení č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a
vibrací. Dostupný z internetu : <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=15&i=491>

Přílohy

- [1] Přehled základních materiálů používaných pro výrobu kolejnic
- [2] Profilový list kolejnice UIC 60
- [3] Profilový list kolejnice UIC 54
- [4] Profilový list kolejnice R 65
- [5] Profilový list kolejnice S 49
- [6] Profilový list kolejnice NT 1
- [7] Dílenský výkres ocelového jádra rozbrušovacího kotouče

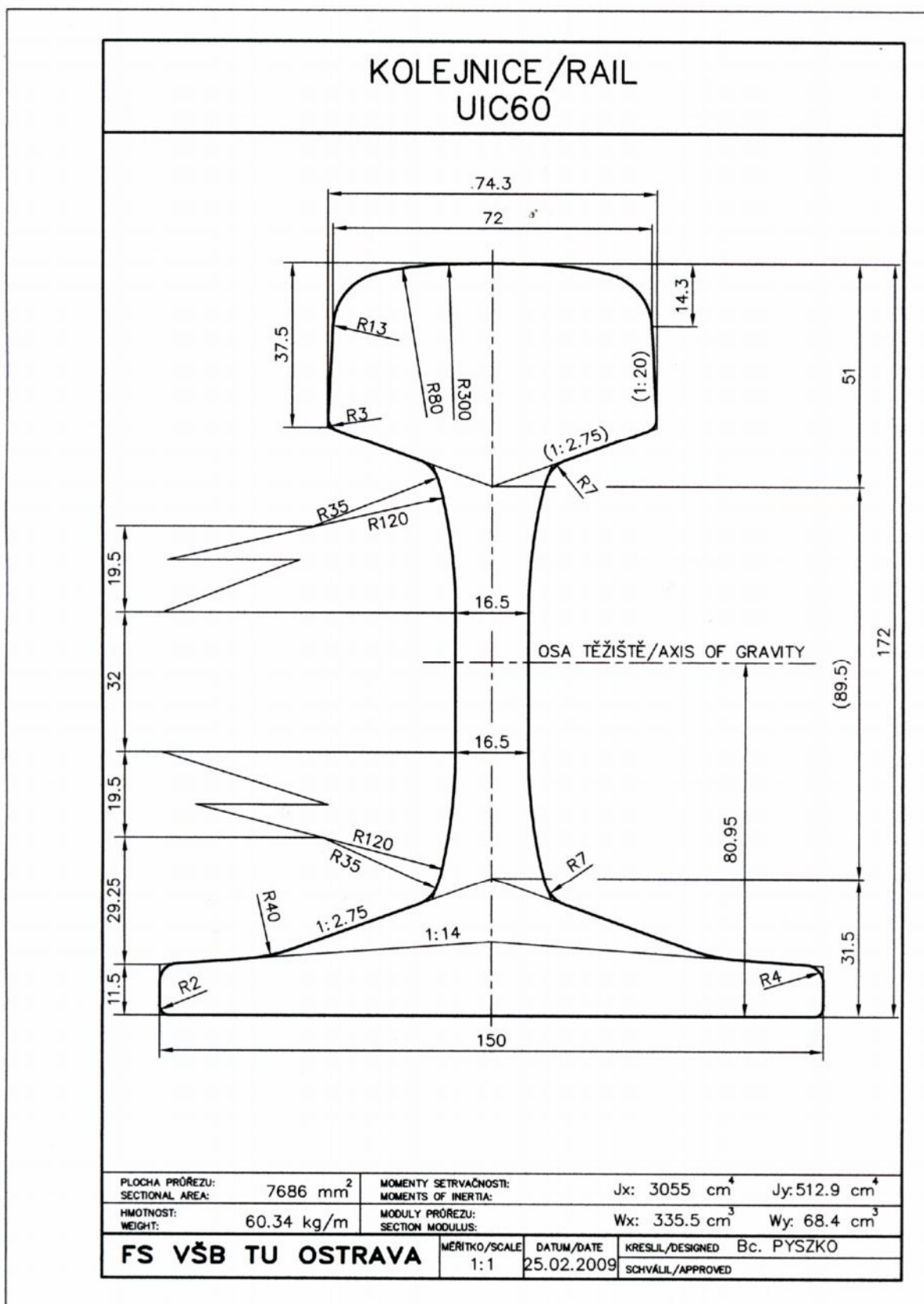
Příloha č. 1

Přehled základních materiálů používaných pro výrobu kolejnic.

Označení oceli	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	R _m (MPa)	Tvrdost HV30
	(hm. %)										
Banverket 800	0,50	0,80	0,15	-	-	-	-	-	-	min	min.
UIC 860	0,65	1,20	0,50	-	-	-	-	-	-	780	243
UIC 700	0,40	0,80	0,05	max.	max.	-	-	-	-	680	212
	0,60	1,25	0,35	0,030	0,030	-	-	-	-	830	260
S 60 B	0,26	1,10	0,25	max.	max.	-	-	max.	0,08	-	-
	0,32	1,40	0,50	0,030	0,025	-	-	0,02	0,18	-	-
UIC 900A	0,60	0,80	0,10	max.	max.	max.	max.	max.	max.	880	275
	0,80	1,30	0,50	0,030	0,030	0,15	0,10	0,02	0,03	1030	320
UIC 900B	0,55	1,30	0,10	max.	max.	max.	max.	max.	max.	880	275
	0,75	1,70	0,50	0,030	0,030	0,15	0,10	0,02	0,03	1030	320
UIC 1100	0,60	0,80	0,30	max.	max.	0,80	max.	0,10	0,04	min.	min.
	0,80	1,30	0,90	0,030	0,030	1,30	0,10	0,20	0,06	1080	336
UIC 1100 CrMoV	0,60	0,80	0,30	max.	max.	0,80	max.	0,10	0,04	min.	min.
	0,80	1,30	0,90	0,030	0,030	1,30	0,10	0,20	0,06	1080	336
75 ČSD Vk	0,45	0,75	0,10	max.	max.	-	-	-	-	734	230
	0,65	1,40	0,50	0,040	0,040	-	-	-	-	883	275
85 ČSD Vk	0,60	0,75	0,10	max.	max.	-	-	-	-	834	260
	0,80	1,40	0,50	0,040	0,040	-	-	-	-	882	275
95 ČSD Vk	0,65	0,75	0,10	max.	max.	-	-	-	-	min.	min.
	0,80	1,40	0,50	0,040	0,040	-	-	-	-	883	275
1100 ČSD Vk CrMn	0,60	0,80	0,30	max.	max.	0,80	-	-	-	981	305
	0,80	1,30	0,90	0,035	0,035	1,30	-	-	-	1080	367
UIC S700 HSH	0,54	0,94	0,24	0,018	0,020	0,05	0,03	-	-	1100	297 HB
UIC S900 HSH	0,78	1,15	0,27	0,016	0,011	0,04	0,03	-	-	1260	372 HB
AREA 300	0,72	0,80	0,10	max.	max.	max.	max.	0,03	0,02	-	-
	0,82	1,10	0,60	0,030	0,030	0,50	0,10	0,10	0,05	-	-
AREA 350	0,70	1,00	0,25	max.	max.	0,90	max.	0,10	0,03	-	-
	0,80	1,20	0,45	0,020	0,025	1,15	0,10	0,20	0,08	-	-
BAINIT 1	0,38	0,70	1,30	max.	max.	0,90	-	0,70	0,05	-	-
	0,42	0,85	1,50	0,015	0,015	1,10	-	0,80	0,10	-	-
BAINIT 2	0,28	0,60	0,70	max.	max.	2,60	-	0,15	-	-	-
	0,32	0,75	1,00	0,015	0,015	3,00	-	0,20	-	-	-
Lo8CrNiMo	0,12	0,89	0,49	0,012	0,008	1,94	2,83	0,53	0,10	1185	380- 400
UIC 866	0,95	11,50	0,40	-	-	-	-	-	-	min.	min.
AM – steel	1,30	14,00	0,65	-	-	-	-	-	-	670	208

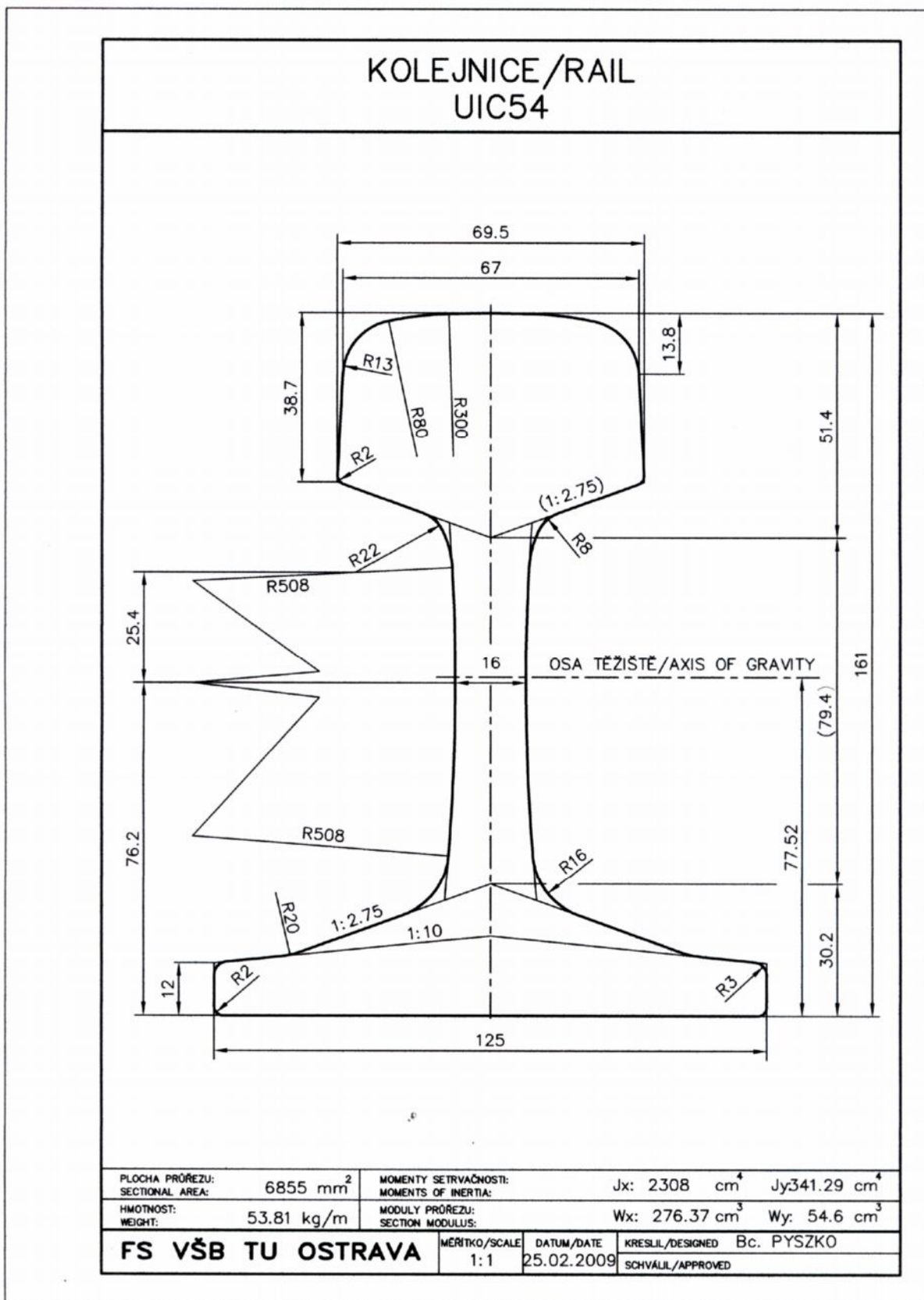
Příloha č. 2

Profilový list kolejnice UIC 60.



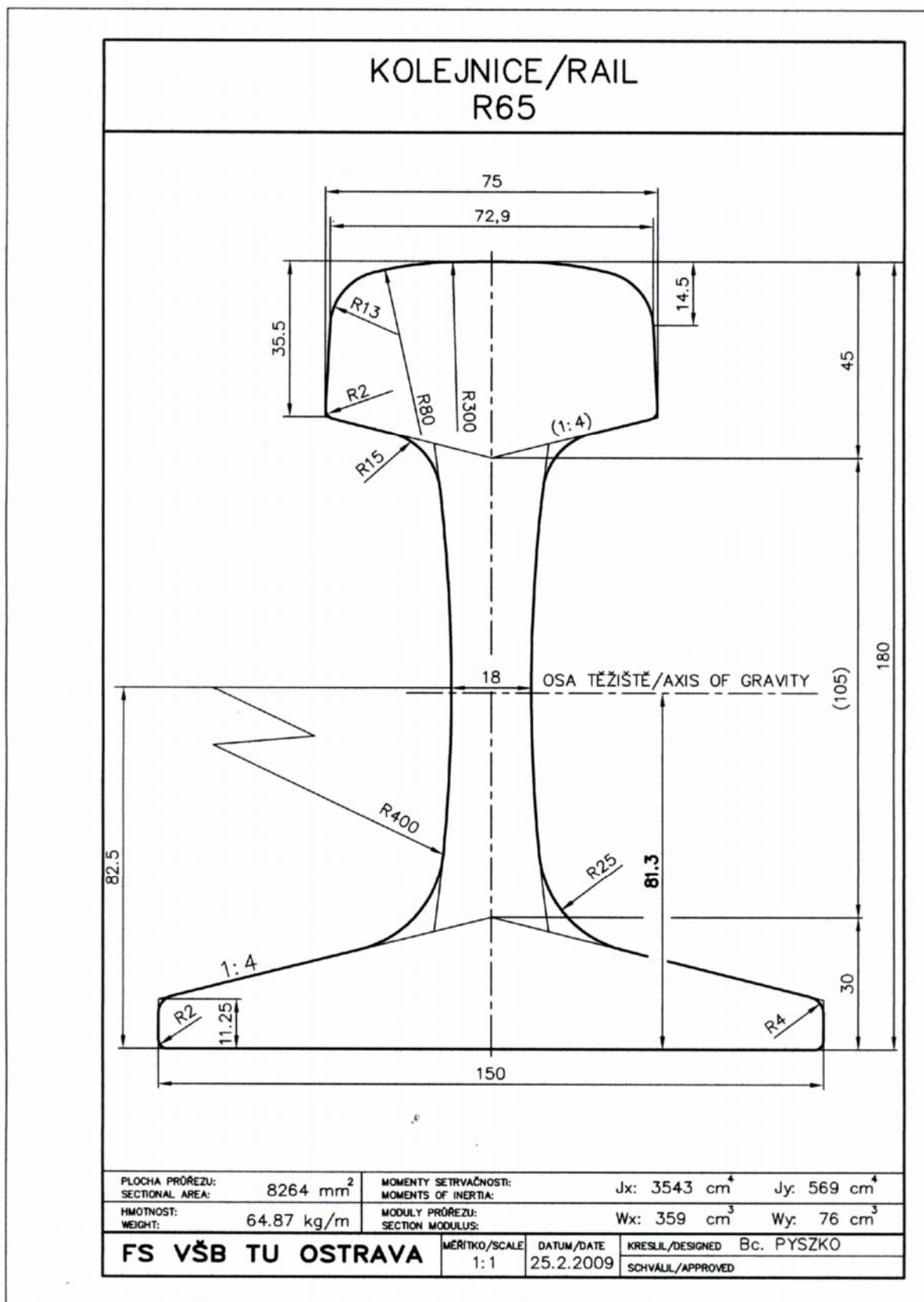
Příloha č. 3

Profilový list kolejnice UIC 54.



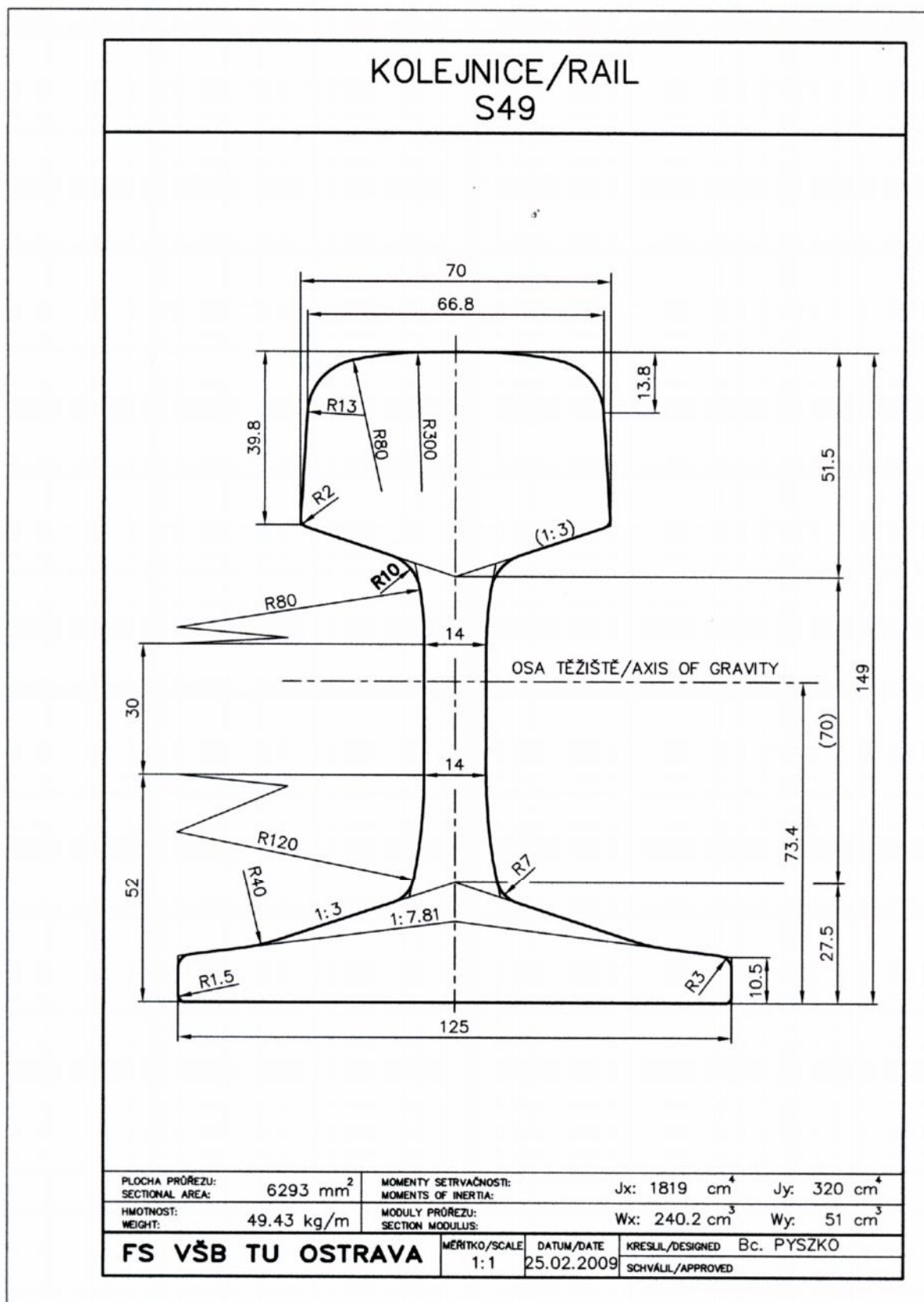
Příloha č. 4

Profilový list kolejnice R 65.



Příloha č. 5

Profilový list kolejnice S 49.



Příloha č. 6

Profilový list kolejnice NT 1.

